

O USO DE MODELOS BAYESIANOS NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS ESPACIAIS  
ALTERADAS POR ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO  
EXPLORATÓRIA MARÍTIMA

Fernando Hepp Pulgati

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA  
CIVIL.

Aprovada por:

---

Prof. Luiz Landau, D.Sc.

---

Prof. Ricardo Norberto Ayup Zouain, D.Sc.

---

Profa. Jandyra Maria Guimarães Fachel, D.Sc.

---

Prof. Nelson Francisco Favilla Ebecken, D.Sc.

---

Prof. Elírio Ernestino Toldo Junior, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2004

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

PULGATI, FERNANDO HEPP

O uso de modelos Bayesianos na definição de áreas espaciais alteradas por atividade de perfuração exploratória marítima [Rio de Janeiro] 2004

XXV, 180 p.29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2004)

Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Monitoramento Ambiental
2. Atividade Exploratória offshore
3. Modelos Bayesianos em Análise Espacial.  
I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Uma nova era pode se abrir, uma era que respeite a terra e a vida que ela produziu. A tecnologia poderia possibilitar aos homens viver com o meio ambiente e não contra ele. Se o quisermos...

*Dedico esta tese à minha família*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela formação recebida, e ao Instituto de Geociências, em especial ao Centro de Estudos Costeiros (CECO), pelas oportunidades de realização deste projeto.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia (COPPE) e ao Programa de Engenharia Civil (PEC) pela oportunidade de realizar um curso de Pós-Graduação.

Aos meus pais pelo apoio incondicional durante toda esta trajetória, marcada agora, pela conquista de mais uma etapa.

Aos meus orientadores, Luiz Landau (UFRJ) pela determinação e comprometimento em oferecer sempre o melhor a todos os alunos do LAMCE (Laboratório de métodos Computacionais em Engenharia) e Ricardo Norberto Ayup Zouain (UFRGS) pelo apoio irrestrito, sempre presente, frente às dificuldades encontradas no transcorrer deste trabalho.

À minha querida amiga e professora Jandyra M.G. Fachel, pelos investimentos em todas as instâncias, financeiros, materiais e pessoais. Por toda a paciência e compreensão, fundamental para que este trabalho, hoje, seja uma realidade.

Ao professor Elírio E. Toldo Junior, do Instituto de Geociências da UFRGS, pela amizade sempre incentivadora na superação de novos desafios.

Ao casal de amigos e professores do IO/USP, Felipe Toledo e Karen Costa, pelas alegrias que uma amizade promove e pelos conhecimentos passados nos Cruzeiros Oceanográficos.

A todos integrantes do Projeto MAPEM, pelas inúmeras e longas discussões interdisciplinares, fundamentais para transformar a grande quantidade de informação recebida, em valioso conhecimento.

Aos professores do LAMCE/COPPE, Giuseppe Bacocoli e Jaci Maria B. Guigon pelos ensinamentos transmitidos.

Aos novos amigos Ricardo Perez Bedregal e Félix T.T. Gonçalves pela confiança e motivação durante o período de redação deste trabalho.

Ao amigo do Centro de Ecologia da UFRGS, Nelson A.F. Machado por ter me “apresentado” à ciência “Estatística” em 1998.

Ao colega e amigo Gustavo Ferreira pelas longas discussões sobre como aplicar os modelos teóricos com suas inúmeras suposições a dados reais nem sempre bem comportados.

Aos colegas das turmas de Engenharia Ambiental e Sistemas Petrolíferos de 2003 pelas novas amizades construídas no Rio de Janeiro.

Aos Professores do Programa de Engenharia Civil da COPPE pela valiosa formação profissional que me proporcionaram.

Aos funcionários da COPPE pela colaboração e suporte durante o período do curso de Pós-Graduação.

Resumo da Tese apresentada a COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

O USO DE MODELOS BAYESIANOS NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS ESPACIAIS  
ALTERADAS POR ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO EXPLORATÓRIA MARÍTIMA

Fernando Hepp Pulgati

Março/2004

Orientadores: Luiz Landau

Ricardo Norberto Ayup Zouain

Programa: Engenharia Civil

O desenvolvimento da atividade de perfuração exploratória marítima para encontrar reservas de óleo e gás tem sido acompanhado de pesquisas de controle e monitoramento ambiental em face do aumento de exigências e restrições crescentes na área do meio ambiente. Através de modelos Bayesianos espaciais, foram isoladas três (3) fases do processo de perfuração, permitindo assim, mensurar os efeitos dos diferentes fluidos utilizados. Desta forma, o possível impacto do uso de fluido não aquoso (NAF) pôde ser avaliado através das mudanças observadas no sedimento marinho em três ocasiões: antes da atividade, um (1) mês após o término e um (1) ano após, adotando para isto o delineamento BACI (*Before-After Control Impact*) que permite o controle das componentes de variação temporal e espacial.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

THE USE OF BAYESIAN MODELS FOR DEFINING SPATIAL AREAS ALTERED  
BY OFFSHORE EXPLORATION DRILLING ACTIVITIES

Fernando Hepp Pulgati

March/2004

Advisors: Luiz Landau

Ricardo Norberto Ayup Zouain

Department: Civil Engineering

Controlling and monitoring environmental researches have accompanied the development of offshore exploration drill activities aimed at finding oil and gas reserves, as there has been an increase in the environmental demands and restrictions. Three stages of the drilling process were isolated and the effects of different fluids were measured using Bayesian spatial models. The probable impact of the use of non-aqueous fluid (NAF) was measured through changes observed in sea sediments in three different occasions: previous to the activity, one (1) month after the end of the activity, and one (1) year after the end of the activity. BACI (Before-After Control Impact) design, which allows the control of temporal and spatial variation components, was chosen.



<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ESTRATÉGIAS E TÉCNICAS EMPREGADAS NA ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>7</b>
2.1. Delineamento BACI ( <i>Before-After, Control-Impact</i> ).....	7
2.2. Modelo Geoestatístico.....	13
2.3 Medidas repetidas utilizando modelos mistos.....	42
<b>3. MAPEAMENTO DA ÁREA COM REGISTROS DA ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO.....</b>	<b>46</b>
3.1. Separando as regiões alterada pelos indicadores da atividade de perfuração propostos.....	60
3.2. Separando os efeitos das fases de perfuração com fluido base água (WBF) e fluido base não aquosa (NAF).....	63
<b>4. UM ENFOQUE GEOESTATÍSTICO APLICANDO INFERÊNCIA BAYESIANA NA DEFINIÇÃO ESPACIAL DA REGIÃO ALTERADA PELOS DIFERENTES INDICADORES DA ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO.....</b>	<b>72</b>
4.1. Análise espacial da variável Fração lineares + UCM C14 a C20.....	74
4.1.1. Fração Lineares + UCM C14 a C20 na primeira operação de amostragem (MD1).....	74
4.1.2. Fração Lineares + UCM C14 a C20 na segunda operação de amostragem (MD2).....	85
4.2. TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) na segunda operação de amostragem MD2.....	103
4.3. Análise do Bário (Ba) ppm.....	111
4.3.1. Análise do Bário (Ba) ppm durante a primeira operação de amostragem – (MD1).....	112
4.3.2. Análise do Bário (Ba) ppm durante a segunda operação de amostragem (MD2).....	118

<b>5. TESTE SOBRE OS EFEITOS BIOLÓGICOS OBSERVADOS NAS DIFERENTES REGIÕES DEFINIDAS A PARTIR DOS INDICADORES DOS FLUÍDOS WBF E NAF: UM EXEMPLO.....</b>	<b>131</b>
5.1. Análise da estrutura de comunidades para a meiofauna.....	131
5.2. Análise de variância considerando o fator WBF_NAF (Fase WBF e FASE (WBF + NAF) ao longo do tempo.....	146
5.3. Resultados sobre as variáveis ME_SG e Densidade de Sabatieria.....	152
5.4. Análise da estrutura de comunidades para a macrofauna.....	153
5.5. Análise de variância considerando o fator WBF_NAF ao longo do tempo	156
5.6. Resultados sobre a variável SED_DET (Sedentários Detritívoras).....	161
<b>6. DISCUSSÃO.....</b>	<b>162</b>
6.1. Resultados ambientais interpretados a partir das variáveis utilizadas como exemplo no Capítulo 5.....	163
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>166</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>169</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

<b>Fig. 2.1.1(a)</b> Localização das estações amostrais em cada radial de distância e a respectiva numeração. As estações de referência não estão na escala real.....	9
<b>Fig. 2.1.1(b)</b> Localização das estações amostrais seguindo o delineamento BACI, com localização espacial georeferenciada das estações de referência.....	10
<b>Fig. 2.1.2</b> Delineamento amostral do Projeto MAPEM - Planejamento BACI...	11

### CAPÍTULO 3

<b>Fig. 2.1.3</b> Localização das estações amostrais sobre a morfologia de fundo da área estudada.....	13
<b>Fig. 3.1</b> Distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares (C14-C35). Estação amostral número 21 no primeiro cruzeiro (MD1).....	48
<b>Fig. 3.2</b> Distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares (C14-C35). Estação amostral número 21 no segundo cruzeiro (MD2).....	48
<b>Fig. 3.3</b> Distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares (C14-C35). Estação amostral número 25 no primeiro cruzeiro (MD1).....	49
<b>Fig. 3.4</b> Distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares (C14-C35). Estação amostral número 25 no segundo cruzeiro (MD2).....	49
<b>Fig. 3.5</b> Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 antes da perfuração (MD1).....	50
<b>Fig. 3.6</b> Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 três (3) meses após a perfuração (MD2).....	50
<b>Fig. 3.7</b> Distribuição espacial do TPH antes da perfuração (MD1).....	51
<b>Fig. 3.8</b> Distribuição espacial do TPH três (3) meses após a perfuração (MD2)...	51
<b>Fig. 3.9</b> Distribuição espacial do Ba (ppm) antes da perfuração (MD1).....	51
<b>Fig. 3.10</b> Distribuição espacial do Ba (ppm) três (3) meses após a perfuração (MD2).....	51

<b>Fig. 3.11</b> Distribuição espacial do Ba (ppm) sobre a morfologia de fundo, três (3) meses após a perfuração (MD2).....	52
<b>Fig. 3.12</b> Percentual de cobertura por cascalho (cuttings) na superfície do compartimento sedimentar um (1) mês após a perfuração (MD2).....	53
<b>Fig. 3.13</b> Simulação da espessura total do material descarregado de acordo com os resultados apresentados pelo grupo de Informática do Projeto MAPEM.....	54
<b>Fig. 3.14</b> Intensidade dos valores observados para o TPH no MD2.....	55
<b>Fig. 3.15</b> Intensidade das estações observadas para o TPH no MD2.....	55
<b>Fig. 3.16</b> Intensidade dos valores observados para as frações lineares + UCM C14 à C20 no MD2.....	56
<b>Fig. 3.17</b> Intensidade das estações observadas para as frações lineares + UCM C14 à C20 no MD2.....	56
<b>Fig. 3.18</b> Intensidade dos valores observados para o Ba no MD2. Obs: Intensidade suavizada na estação número 2.....	57
<b>Fig. 3.19</b> Intensidade das estações observadas para o Ba no MD2. Obs: Intensidade suavizada na estação número 2.....	57
<b>Fig. 3.20</b> Intensidade dos valores observados de “cuttings” no MD2.....	58
<b>Fig. 3.21</b> Intensidade das estações observadas para “cuttings” no MD2.....	58
<b>Fig. 3.22</b> Intensidade dos valores simulados.....	59
<b>Fig. 3.23</b> Intensidade das estações simuladas.....	59
<b>Fig. 3.24</b> Localização das estações amostrais discriminadas de acordo com os indicadores da atividade de perfuração.....	62
<b>Fig. 3.25</b> Figura ilustrativa da área definida pelas estações amostrais de acordo com os indicadores da atividade de perfuração.....	62
<b>Fig. 3.26</b> Descrição das áreas com registros das fases WBF e WBF + NAF, que definem os grupos para a análise.....	66
<b>Fig. 3.27</b> Descrição das áreas com registros das fases WBF, WBF + NAF e somente NAF. O grupo somente NAF não foi separado na análise devido ao pequeno número observado de estações amostrais.....	67

<b>Fig. 3.28</b> Diferença MD2 – MD1 para a variável Ba (ppm).....	68
<b>Fig. 3.29</b> Dispersão do Ba (ppm) com a distância do poço nos dois (2) cruzeiros MD1 e MD2.....	69
<b>Fig. 3.30</b> Diferença MD2 – MD1 para a variável Lin+UCM C14 a C20 (ppm)...	69
<b>Fig. 3.31</b> Dispersão da variável Lin+UCM C14 a C20 (ppm) com a distância do poço nos dois cruzeiros, MD1 e MD2.....	70
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>Fig. 4.1</b> Resolução da malha utilizada para estimação dos parâmetros e predição das localidades não observadas.....	73
<b>Lineares + UCM C14 a C20 Primeira operação de amostragem – (MD1)</b>	
<b>Fig. 4.2</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	75
<b>Fig. 4.3</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	75
<b>Fig. 4.4</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Kappa ( $k$ ).....	76
<b>Fig. 4.5</b> Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Kappa ( $k$ ).....	76
<b>Fig. 4.6</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Phi ( $\phi$ ).....	77
<b>Fig. 4.7</b> Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Phi ( $\theta$ ).....	77
<b>Fig. 4.8</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do inverso do parâmetro Phi ( $1/\phi$ ).....	78
<b>Fig. 4.9</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do inverso do parâmetro Phi ( $1/\phi$ ).....	78
<b>Fig. 4.10</b> Histograma e a distribuição de probabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ )....	79

<b>Fig. 4.11</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) e do parâmetro Tau ( $\tau$ ) .....	79
<b>Fig. 4.12</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do inverso do parâmetro Tau (Sigma2) ( $1/\tau$ ) .....	80
<b>Fig. 4.13</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) para o inverso do parâmetro Tau (Sigma2) ( $1/\tau$ ) .....	80
<b>Fig. 4.14</b> Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 na primeira operação de amostragem (MD1).....	81
<b>Fig. 4.15</b> Série histórica dos valores amostrados para a variável fração lineares + UCM C14 a C20, obtidos a partir da simulação MCMC para a região onde está localizada a estação amostral número 21 antes da perfuração (MD1).....	82
<b>Fig. 4.16</b> Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 21 antes da perfuração (MD1).....	83
<b>Fig. 4.17</b> Função de autocorrelação da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 21 antes da perfuração (MD1).....	83
<b>Fig. 4.18</b> Série histórica da a variável fração lineares + UCM C14 a C20, com os valores amostrados a partir da simulação MCMC para a região onde está localizada a estação amostral número 25 antes da perfuração (MD1).....	84
<b>Fig. 4.19</b> Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 25 antes da perfuração (MD1).....	85
<b>Fig. 4.20</b> Função de auto-correlação da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 25 antes da perfuração (MD1).....	85
<b>Lineares + UCM C14 a C20 Segunda operação de amostragem – (MD2)</b>	
<b>Fig. 4.21</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Beta ( $\beta$ ) .....	86

<b>Fig. 4.22</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	87
<b>Fig. 4.23</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Kappa ( $k$ ).....	88
<b>Fig. 4.24</b> Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Kappa ( $k$ ).....	88
<b>Fig. 4.25</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Phi ( $\phi$ ).....	88
<b>Fig. 4.26</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Phi ( $\theta$ ).....	89
<b>Fig. 4.27</b> Histograma e a distribuição de probabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ).....	89
<b>Fig. 4.28</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Tau ( $\tau$ ).....	90
<b>Fig. 4.29</b> Histograma e a distribuição de probabilidade para (Sigma2) ( $1/\tau$ ).....	90
<b>Fig. 4.30</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do inverso do parâmetro Tau (Sigma2) ( $1/\tau$ ).....	90
<b>Fig. 4.31</b> Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 após a atividade de perfuração (MD2).....	91
<b>Fig. 4.32</b> Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 antes da atividade de perfuração (MD1) e um mês após o término das atividades (MD2)..	92
<b>Fig. 4.33</b> Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 21 após a atividade de perfuração (MD2).....	93
<b>Fig. 4.34</b> Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 21 antes da atividade de perfuração (MD_1) e após a atividade de perfuração (MD_2).....	94
<b>Fig. 4.35</b> Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 25 após a perfuração (MD2).....	95

<b>Fig. 4.36</b> Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 25 antes da atividade de perfuração (MD_1) e após a atividade de perfuração (MD_2).....	96
<b>Fig. 4.37</b> localização das estações amostrais destacando as de números 21 e 25. A Figura descreve duas regiões definidas pela diferença de adensamento amostral.....	97
<b>Fig. 4.38</b> Mapa descrevendo a probabilidade de que o valor da variável fração lineares + UCM C14 a C20 seja maior que 1.621 ppm.....	98
<b>Fig. 4.39</b> Mapa dicotômico para a fração lineares + UCM C14 a C20 mostrando as duas regiões distintas RA e RNA.....	100
<b>Fig. 4.40</b> Densidade a posteriori do parâmetro Beta zero ( $\beta_0$ ) .....	101
<b>Fig. 4.41</b> Densidade a posteriori do parâmetro Beta zero ( $\beta_1$ ) .....	101
<b>Fig. 4.42</b> Série histórica da cadeia amostrada da diferença dos parâmetros ( $\beta_1$ ) e ( $\beta_0$ ).....	103
<b>Fig. 4.43</b> Densidade a posteriori da diferença dos parâmetros ( $\beta_1$ ) e ( $\beta_0$ ).....	103
<b>TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) Segunda operação de amostragem (MD2).</b>	
<b>Fig. 4.44</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta zero ( $\beta_0$ ).....	103
<b>Fig. 4.45</b> Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Beta zero ( $\beta_0$ ).....	104
<b>Fig. 4.46</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta um ( $\beta_1$ ) .....	104
<b>Fig. 4.47</b> Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Beta um ( $\beta_1$ ) .....	104
<b>Fig. 4.48</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Kappa ( $k$ ).....	105
<b>Fig. 4.49</b> Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Kappa ( $k$ ).....	105
<b>Fig. 4.50</b> Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Phi ( $\phi$ ).....	106



<b>Fig. 4.51</b> Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Phi ( $\phi$ ).....	106
<b>Fig. 4.52</b> Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Tau ( $\tau$ ).....	107
<b>Fig. 4.53</b> Distribuição espacial da variável TPH ( <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> ) após a atividade de perfuração (MD2) predita a partir do modelo descrito no Capítulo 3.3.2.....	108
<b>Fig. 4.54</b> Distribuição a posteriori da diferença $\beta_1 - \beta_0$ predita a partir do modelo descrito no Capítulo 3.3.2. variável TPH ( <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> ) após a atividade de perfuração (MD2).....	109
<b>Fig. 4.55</b> Distribuição a posteriori dos parâmetros $\beta_0$ e $B_1$ preditas a partir do modelo descrito no Capítulo 3.3.2. Variável TPH ( <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> ) após a atividade de perfuração (MD2).....	110
<b>Bário (Ba) ppm - Primeira operação de amostragem (MD1).</b>	
<b>Fig. 4.56</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	113
<b>Fig. 4.57</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	113
<b>Fig. 4.58</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	113
<b>Fig. 4.59</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Phi ( $\phi$ ).....	114
<b>Fig. 4.60</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Phi ( $\phi$ ).....	114
<b>Fig. 4.61</b> Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Phi ( $\theta$ ).....	115
<b>Fig. 4.62</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do inverso do parâmetro Phi ( $1/\phi$ ).....	115
<b>Fig. 4.63</b> Série histórica da cadeia para o inverso do Phi. ( $1/\phi$ ).....	115

<b>Fig. 4.64</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do inverso do parâmetro Phi ( $1/\phi$ ).....	116
<b>Fig. 4.65</b> Histograma e a distribuição de probabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ).....	116
<b>Fig. 4.66</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Tau ( $\tau$ ).....	116
<b>Fig. 4.67</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) e do parâmetro Tau ( $\tau$ ).....	117
<b>Fig. 4.68</b> Distribuição espacial da variável Bário (Ba ppm) após a atividade de perfuração (MD2).....	117
<b>Bário (Ba) ppm - Segunda operação de amostragem (MD2).</b>	
<b>Fig. 4.69</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	119
<b>Fig. 4.70</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	120
<b>Fig. 4.71</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	120
<b>Fig. 4.72</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Kappa ( $k$ ).....	120
<b>Fig. 4.73</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta ( $\beta$ ).....	121
<b>Fig. 4.74</b> Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Kappa ( $k$ ).....	121
<b>Fig. 4.75</b> Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Phi ( $\phi$ ).....	121
<b>Fig. 4.76</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Phi ( $\phi$ ).....	122
<b>Fig. 4.77</b> Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Phi ( $\theta$ ).....	122
<b>Fig. 4.78</b> Histograma e a distribuição de probabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ).....	122
<b>Fig. 4.79</b> Série histórica da cadeia para o parâmetro Tau ( $\tau$ ).....	123

<b>Fig. 4.80</b> Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) para o parâmetro Tau ( $\tau$ ) .....	123
<b>Fig. 4.81</b> Distribuição espacial da variável Bário (Ba ppm) após a atividade de perfuração (MD2).....	124
<b>Fig. 4.82</b> Distribuição espacial da variável Bário (Ba ppm) após a atividade de perfuração (MD2). Figura ilustrativa não usada para classificação das regiões RA e NRA. Valores atípicos ( $Ba_{md2} > 1200 ppm$ ) foram excluídos para estimação dos parâmetros e predição dos locais não observados.....	125
<b>Fig. 4.83</b> Distribuição espacial das Regiões RA e RNA para a variável Bário (Ba ppm), definidas pelo critério probabilístico.....	127
<b>Fig. 4.84</b> Distribuição espacial das Regiões RA e RNA para a variável Bário (Ba ppm), definidas pelo critério probabilístico.....	129
<b>Fig. 4.85</b> Descrição das áreas com registros das fases WBF, WBF + NAF já incluindo os <i>pixels</i> que apresentaram somente <i>cuttings</i> (Pixels sob as estações amostrais 17 e 18).....	130
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>Fig. 5.1</b> Gráfico de dispersão 2D dos escores gerados pela análise MDS.....	132
<b>Fig. 5.2</b> Estações amostrais do cluster 2 (círculos cor de laranja). Região Alterada conforme critério definido no Capítulo 3.....	134
<b>Fig. 5.3</b> Estações amostrais do cluster 2 (círculos cor de laranja). Região Alterada conforme critério definido no Capítulo 4. (Geoestatística Bayesiana)....	135
<b>Fig. 5.4</b> Gráfico de dispersão 2D dos escores gerados pela análise MDS com os resultados da Análise de agrupamento (Cluster).....	136
<b>Fig. 5.5</b> Gráficos de dispersão e elipse com 95% de confiança entre os escores da componente 1 (MDS) e as demais variáveis da meiofauna.....	139
<b>Fig. 5.6 (1)</b> Gráficos de dispersão e reta de regressão ajustada entre a variável dependente definida pelos os escores da componente 1 (MDS) e as a variável independente (explicativa) ME_SG . (2) Dispersão entre valores preditos pelo modelo e a variável dependente escores_1.....	141

<b>Fig. 5.7</b> Gráficos de dispersão e elipse com 95% de confiança entre os escores da componente 1 (MDS) e a variável ME_SG.....	142
<b>Fig. 5.8 (1)</b> Gráficos de dispersão e reta de regressão linear simples nos parâmetros ajustada entre a variável dependente definida pelos os escores da componente 1 (MDS) e a variável independente (explicativa) ME_SG. (2) Dispersão entre valores preditos pelo modelo e a variável dependente escores_1..	143
<b>Fig. 5.9</b> Geoestatística da variável ME_Sg no MD1, MD2 e MD3. Transformação aplicada: raiz cúbica ( $\sqrt[3]{ME\_SG}$ ).....	143
<b>Fig. 5.10</b> Estações amostrais do cluster 2 (círculos em laranja).....	144
<b>Fig. 5.11</b> (Geoestatística ME_SG MD2) e estações amostrais do grupo 2 (círculos em laranja).....	144
<b>Fig. 5.12</b> Gráficos de perfis Cruzeiro (AO) x WBF_NAF e efeito de cruzeiro para variável MDS_escore_1 (Componente 1 da análise MDS).....	147
<b>Fig. 5.13</b> Gráfico para o perfil das médias dos cruzeiros (ME_SG).....	148
<b>Fig. 5.14</b> Gráfico de perfis da interação do Fator Cruzeiro com o Fator WBF_NAF para a variável <i>Sabatieria</i> – (Médias destransformadas).....	150
<b>Fig. 5.15</b> Geoestatística do gênero <i>Sabatieria</i> (densidade) com a sobreposição de 3 regiões que descrevem os níveis do fator Máscara dado por WBF, WBF+NA e RNA.....	151
<b>Fig. 5.16</b> Escores da análise MDS ( <i>Multidimensional Scaling</i> ) a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades da macrofauna bêntica.....	154
<b>Fig. 5.17</b> Escores da análise MDS ( <i>Multidimensional Scaling</i> ) a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades da macrofauna bêntica. Nota: As estações números 24 e 36 estão localizadas em uma região onde somente foram observados indicadores do uso de fluídos não-aquosos (NAF).....	155

<b>Fig. 5.18</b> Estações amostrais (Símbolos vermelhos) que apresentaram mudança na estrutura de comunidades no MD3 a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades e as regiões com registros das diferentes fases de perfuração de acordo com o fluido utilizado.....	156
<b>Fig. 5.19</b> Gráfico de perfis das médias da interação tempo x WBF+NAF para a densidade de sedentários Detritívoros (SED_DET) (Médias destransformadas).	159
<b>Fig. 5.20</b> Geoestatística da variável SED_DET (Grupo trófico Sedentários Detritívoros). Nota: Transformação aplicada – Raiz cúbica.....	160
<b>Fig. 5.21</b> Diferentes regiões do Fator WBF_NAF (1). Geoestatística da raiz cúbica da densidade do Grupo trófico Sedentários Detritívoros (SED_DET) (2)..	160

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO 3

<b>Tab. 3.1</b> Média dos grupos de hidrocarbonetos alifáticos lineares na estação amostral 25.....	50
<b>Tab. 3.2</b> Pontos de corte das variáveis indicadores da atividade de perfuração.....	60
<b>Tab. 3.3</b> Definição das estações amostrais conforme a Região de Impacto. As áreas em azul definem as estações que tiveram o valor da variável respectiva selecionado conforme o critério de definição do Grupo RA.....	61
<b>Tab. 3.4</b> Pontos de corte das variáveis indicadores da atividade de perfuração....	64
<b>Tab. 3.5</b> Contribuição para cada estação amostral dos indicadores das diferentes fases de perfuração. Áreas marcadas indicam que a estação amostral foi classificada na respectiva fase, de acordo com os valores observados no segundo cruzeiro (MD2).....	65

### CAPÍTULO 4

#### Lineares + UCM C14 a C20 Primeira operação de amostragem \_ (MD1)

<b>Tab. 4.1</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta$ )....	75
<b>Tab. 4.2</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Kappa.....	76
<b>Tab. 4.3</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ ).	76
<b>Tab. 4.4</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro ( $1/\phi$ ) ( $1/\phi$ ).....	77
<b>Tab. 4.5</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ) .....	79
<b>Tab. 4.6</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Sigma2 ( $\sigma^2$ ).....	80
<b>Tab. 4.7</b> Medidas de tendência central e variabilidade previstas, para a região (Pixel) em que foi extraída a amostra número 21 no MD1.....	82

<b>Tab. 4.8</b> Medidas de tendência central e variabilidade estimadas, da região que foi extraída a amostra número 25 no MD1.....	84
<b>Lineares + UCM C14 a C20 Segunda operação de amostragem _ (MD2)</b>	
<b>Tab. 4.9</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta$ )....	86
<b>Tab. 4.10</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Kappa ( $k$ ).....	87
<b>Tab. 4.11</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ ) ...	88
<b>Tab. 4.12</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ) ...	89
<b>Tab. 4.13</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Sigma2 ( $\sigma^2$ ) .....	90
<b>Tab. 4.14</b> Medidas de tendência central e variabilidade estimadas, da região em que foi extraída a amostra número 21 no MD2.....	93
<b>Tab. 4.15</b> Medidas de tendência central e variabilidade estimadas, da região que foi extraída a amostra número 25 no MD2.....	95
<b>Tab. 4.16</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta zero ( $\beta_0$ ).....	100
<b>Tab. 4.17</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta um ( $\beta_1$ ) .....	101
<b>Tab. 4.18</b> Medidas de tendência central e variabilidade d para a diferença a posteriori dos parâmetro Beta um ( $\beta_1$ ) - Beta zero ( $\beta_0$ ) .....	102
<b>TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) Segunda operação de amostragem (MD2).</b>	
<b>Tab. 4.19</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta_0$ ).....	103
<b>Tab. 4.20</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta 1 ( $\beta_1$ ).....	104
<b>Tab. 4.21</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Kappa ( $k$ ).....	105

<b>Tab. 4.22</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ )....	105
<b>Tab. 4.23</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro ( $1/\phi$ ) ( $1/\phi$ ).....	106
<b>Tab. 4.24</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ) ...	107
<b>Tab. 4.25</b> Medidas de tendência central e variabilidade da diferença $\beta_1 - \beta_0$ estimada a partir modelo aplicado a variável TPH ( <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> ).....	108
<b>Bário (Ba) ppm - Primeira operação de amostragem (MD1).</b>	
<b>Tab. 4.27</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta$ )..	112
<b>Tab. 4.28</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ )....	114
<b>Tab. 4.29</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro ( $1/\phi$ ) ( $1/\phi$ ).....	115
<b>Tab. 4.30</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro <i>Tau</i> ( $\tau$ ) ...	116
<b>Bário (Ba) ppm - Segunda operação de amostragem (MD2).</b>	
<b>Tab. 4.31</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta$ )..	119
<b>Tab. 4.32</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Kappa ( $k$ ).....	120
<b>Tab. 3.33</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ )....	121
<b>Tab. 4.34</b> Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro <i>Tau</i> ( $\tau$ ) ...	122
<b>Tab. 4.35</b> Classificação das estações amostrais de acordo com a variável Bário (Ba ppm) de acordo com os critério do Capítulo 3 e critérios adotados no Capítulo 4.....	128
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>Tab. 5.1</b> Valores de TPH (ppm) e Cuttings (%) nas estações amostrais do cluster 2.....	137



<b>Tab. 5.2</b> Matriz de correlação entre as medidas univariadas da meiofauna e os escores da análise MDS sobre a matriz de similaridade da estrutura de comunidades da meiofauna.....	138
<b>Tab. 5.3</b> Variáveis que permaneceram no Modelo de Regressão, coeficientes de determinação parcial do modelo e as probabilidades associadas.....	140
<b>Tab. 5.4</b> Resultados da análise de regressão linear simples da variável ME_SG sobre os escores da componente 1 (MDS_escores_1) da estrutura de comunidades meiobentônicas.....	141
<b>Tab. 5.5</b> Resultados da análise de Regressão Linear Múltipla (forma cúbica) da variável ME_SG sobre os escores da componente 1 da estrutura de comunidades meiobentônicas.....	142
<b>Tab. 5.6</b> Valores das probabilidades do teste ANOVA sobre os escores (MDS_escores_1) originários da matriz de similaridade da estrutura de comunidades considerando como fonte de variação os cruzeiros e as regiões de deposição dos diferentes fluídos.....	146
<b>Tab. 5.7</b> Valores das probabilidades do teste ANOVA para a variável da meiofauna ME_SG e <i>Sabatieria</i> considerando como fontes de variação os cruzeiros (OA) e as regiões de deposição dos diferentes fluídos.....	148
<b>Tab. 5.8</b> Comparações múltiplas de médias da interação do Fator Cruzeiro com o Fator WBF_NAF para a variável <i>Sabtieria</i> .....	149
<b>Tab. 5.9</b> Valores das probabilidades do teste ANOVA para a variável da macrofauna SED_DET considerando como fontes de variação os cruzeiros (OA) e as regiões de deposição dos diferentes fluídos.....	156
<b>Tab. 5.10</b> Médias dentro dos grupos, resultante da interação Tempo x Fator WBF_NAF.....	157
<b>ANEXO</b>	
<b>Tab. 8.1</b> Valores preditos pelo modelo para as localidades observadas através das estações amostrais de acordo com a Figura 2.1.1 (a) referente a variável TPH (ppm) ( <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> ).....	169

<b>Tab. 8.2</b> Valores correspondentes ao efeito espacial predito pelo modelo para os 352 pixels definidos na Figura 4.1 referente a variável TPH (ppm) ( <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> ).....	168
<b>Tab. 8.3</b> Valores predito pelo modelo para os 352 pixels definidos na Figura 4.1 referente a variável TPH (ppm) ( <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> ).....	173

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da atividade de perfuração exploratória marítima com o objetivo de identificar o potencial para exploração de reservas de óleo e gás tem sido acompanhado de pesquisas de controle e monitoramento ambiental em face do aumento de exigências e restrições crescentes na área de meio ambiente. O uso de fluidos, aquosos (WBF) e não aquosos (NAF) durante o processo de perfuração do poço exploratório, geram entre outros produtos cascalhos residuais, denominados como *cuttings*.

O Projeto **Monitoramento Ambiental de Perfuração Exploratória Marítima (MAPEM)** é um projeto de monitoramento ambiental desenvolvido por iniciativa de Centros de Pesquisas das Universidades Federais do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, em parceria com a indústria brasileira de óleo e gás, representadas pelo Instituto Brasileiro do Petróleo – IBP.

O Projeto **MAPEM** foi iniciado para fornecer um estudo dos efeitos ambientais decorrentes de descargas de cascalhos (*cuttings*), impregnados com fluidos não-aquosos de nova geração, utilizado em perfurações marítimas tanto para ambiente de água rasa, como de água profunda.

Este projeto foi realizado com suporte financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás – IBP e administração da Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande do Sul – FAURGS. Para execução do projeto foi montada uma equipe multidisciplinar constituída por grupos de pesquisas de Biologia, Estatística, Geologia, Informática e Química, das Universidades Federais do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Protocolos detalhados e Manual de Campo foram elaborados e revistos para assegurar credibilidade científica e comunicação eficiente entre a equipe, tanto para as atividades de bordo, como para as atividades de laboratório. Participaram desde as fases iniciais de planejamento, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA e da Agência Nacional do Petróleo – ANP.

O estudo conta com uma grande densidade de amostras para ter robustez estatística adequada. A malha de amostragem foi estruturada, originalmente, em 54 estações, para cada local de monitoramento. As coletas foram realizadas a bordo do Navio Satro 25,

serviço contratado da empresa *Petroleum and Environmental Geo-Service* – PEG. Foram realizados 03 cruzeiros oceanográficos:

- 1° Cruzeiro (MD1), de 19 a 24 de abril de 2001 – pré-perfuração do poço;
- 2° Cruzeiro (MD2), de 23 a 27 de julho de 2001 – 30 dias pós-perfuração;
- 3° Cruzeiro (MD3), de 22 a 26 de junho de 2002 – 11 meses pós-perfuração.

O Projeto Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima tem por objetivo geral avaliar o impacto efetivo da atividade de perfuração exploratória sobre dois ecossistemas bentônicos oceânicos, um em águas rasas e outro em águas profundas, quando submetidos aos efeitos da descarga de cascalhos de perfuração impregnados com fluídos não-aquosos (*Non-Aqueous Fluids* – NAF), utilizados neste tipo de perfurações, em áreas de atuação das empresas de petróleo filiadas ao Instituto Brasileiro do Petróleo (IBP) que atuam no Brasil em decorrência de contratos de concessão para exploração e produção de petróleo e gás natural.

#### Objetivo 1:

Determinar o grau de impacto ambiental e da recuperação destes locais até um ano após o descarte:

- avaliar as mudanças físicas, químicas e biológicas, em águas rasas e profundas, após o descarte. Determinar o estado destes ambientes até um ano após o início da perfuração;
- realizar amostragens de sedimento de fundo e de água antes da perfuração e duas vezes após a perfuração, para estudos da macrofauna, meiofauna, metais, hidrocarbonetos, tamanho de grão, carbono orgânico total, composição dos sedimentos e qualidade de água. Estas atividades serão integradas com o programa de monitoramento desenvolvido pelas operadoras do bloco monitorado;

- revisar a estratégia de amostragem. Desenvolvimento de planos de análise dos dados por especialistas em estatística e de planos para implementação das atividades de campo;
- revisar detalhadamente os Planos de Controle de Qualidade – QA/QC e Protocolos. Desenvolvimento dos procedimentos de amostragem para cada atividade de campo e de laboratório antes de se iniciar o programa das atividades de campo;
- resumir o que é conhecido sobre comunidades bentônicas marinhas de outros programas similares em outros lugares do mundo;
- incluir e comparar os resultados no contexto de outras experiências internacionais.

#### Objetivo 2:

Prover os dados necessários para calibração do modelo de previsão do descarte de cascalhos com NAF:

- determinar se o modelo de previsão tem precisão aceitável;
- determinar melhorias na precisão do modelo;
- prover um conjunto de dados para calibrar e comparar os diferentes algoritmos.

#### Objetivo 3:

Prover informações técnicas que possam ser utilizadas no desenvolvimento de práticas recomendadas para as agências que trabalham no desenvolvimento de regulamentações do descarte de material:

- inserir os resultados deste projeto no contexto dos estudos de monitoramento realizados internacionalmente;
- desenvolver informações para as indústrias que dão suporte aos programas de estudos ambientais marinhos, para a correta condução da rotina de monitoramento;

## **MEMBROS EXECUTORES E INTERVENIENTES DO MAPEM**

Membros Executores: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Universidade Federal de Santa Catarina

Os grupos de pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul que desenvolvem as atividades no Projeto MAPEM, compreendem:

- **Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica,**
- **Grupo de Pesquisa em Computação Gráfica e Processamento de Imagens,**
- **Núcleo de Assessoria Estatística,**
- **Laboratório de Química Ambiental e Análise de Traços.**

Pela Universidade Federal de Santa Catarina, o grupo de pesquisa de Biologia foi constituído por:

- **Núcleo de Estudos do Mar – NEMAR**

## **A INSTITUIÇÃO EXECUTORA DO PROJETO MAPEM – FAURGS.**

A Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - FAURGS é uma entidade de direito privado sem fins lucrativos. A FAURGS foi criada em função da Lei no 8.958 de 20 de dezembro de 1994 que dispõe sobre as relações entre as Instituições Federais de Ensino Superior e de Pesquisa Científica e Tecnológica e as Fundações de Apoio.

Membros Intervenientes:

O consórcio de empresas de petróleo e gás que contribuiu financeiramente para um fundo administrado pelo Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP, no desenvolvimento do Projeto MAPEM, foi constituído pelas seguintes companhias; (1) ***Amerada Hess***, (2) ***British Petroleum***, (3) ***ChevronTexaco***, (4) ***Devon***, (5) ***El Paso***, (6) ***ENCANA***, (7) ***Eni Oil do Brasil***, (8) ***ExxonMobil***, (9) ***Ipiranga***, (10) ***Kerr-McGee***, (11) ***Maersk***, (12) ***Newfield***, (13) ***Petrobrás***, (14) ***Philips Petroleum***, (15) ***Repsol YPF***, (16) ***Shell***, (17) ***Statoil***, (18) ***Totalfinaelf***, (19) ***Unocal***, (20) ***Wintershall***.

O comitê de coordenação do MAPEM decidiu, também, contratar um corpo de consultores para assessorar os grupos de investigação na etapa inicial do projeto, para conhecer os resultados no contexto de outras experiências nacionais e internacionais; (1) Alan D. Hart, Ph.D. – *Continental Shelf Associates, Inc.*, (2) Jerry Neff Ph. D. – *Battelle Institute*, (3) Marcio Rocha Mello Ph. D. – *Analytical Solutions*, e de consultores para assessoramento dos grupos de pesquisa em Biologia, Estatística e Química; (4) Julio Cesar Wasserman Ph. D. – *PGCA / UFF*, (5) Keith Parker Ph. D. – *Data Analysis Group* (6) Paulo Lana Ph. D. – *CEM / UFPR*, (7) Renato Martins Assunção Ph. D. – *IM / UFMG*.

No Capítulo 2 é descrito o método de análise dos dados a partir do delineamento BACI (*Befor-After, Control-Impact*). A estratégia de amostragem do Projeto MAPEM contemplou 54 estações amostrais, repetidas em três ocasiões distintas identificadas como MD1, MD2 e MD3 (Mapem *Depth* 1, 2 e 3). A estratégia amostral foi desenhada para separar efeitos temporais e espaciais.

Técnicas geoestatísticas abordando a inferência Clássica foram utilizadas para explorar os dados. Modelos Bayesianos foram implementados para definir as regiões no espaço alteradas por elementos indicadores dos fluídos utilizados na atividade de perfuração. Posteriormente foram empregadas técnicas de Análise de Variância utilizando Modelos Mistos com Medidas Repetidas (SAS, PROC MIXED), com objetivo de avaliar os efeitos temporais e espaciais.

O Capítulo 3 apresenta a definição de um estudo complementar definido como Máscara. Após o segundo cruzeiro (MD2), constatou-se que a deposição de elementos físicos e químicos no sedimento marinho, provenientes da atividade de perfuração, aconteceu em seções limitadas, localizadas dentro do raio de 500 metros. A estratégia consistiu em definir as regiões (modificadas) pela presença de indicadores dos diferentes fluídos utilizados no processo, preservando o restante da área neste raio como uma segunda fonte de controle espaço-temporal.

No Capítulo 4 um estudo complementar utilizou técnicas de inferência Bayesiana para definir por meio de critérios probabilísticos, a região modificada pela a atividade de perfuração, em particular pelo uso dos diferentes fluídos de perfuração.

Os modelos utilizados fazem uso das suposições intrínsecas aos dados geoestatísticos discutidas no Capítulo 2. Foram empregadas técnicas de inferência

Bayesiana para estimar o espaço de parâmetros  $\theta$ , onde  $\theta = (\beta, \tau, \phi \sigma^2, k)$  que são por definição, os parâmetros dos modelos teóricos geoestatísticos. A predição de valores para os locais não observados utilizou o método de Simulação por Monte Carlo via Cadeia de Markov (MCMC).

No Capítulo 5 é descrito um estudo detalhado objetivando demonstrar que algumas variáveis da meiofauna como, por exemplo, ME\_SG (Número de Gêneros de Nemátodos), preservam significativamente a informação intrínseca ao banco de dados da estrutura de comunidades. A importância desta discussão recai na possibilidade de se aplicar o delineamento BACI utilizando modelos paramétricos propostos inicialmente, em detrimento a métodos não paramétricos conhecidamente com menor poder de teste, sem a perda de informação intrínseca a estrutura de comunidades observada no local.

As hipóteses sobre mudanças, na meiofauna bêntica decorrentes da atividade antrópica, ou mesmo natural foram testadas. Como exemplo dentre as muitas variáveis observadas no Projeto MAPEM, foram escolhidas três (3) que apresentaram diferentes respostas sobre os efeitos espaciais e temporais avaliados, demonstrando assim o procedimento que possibilita avaliar possíveis modificações decorrentes do uso de fluido aquoso (WBF) e não-aquoso (NAF).

No Capítulo 6 é desenvolvida uma discussão sobre a estratégia implementada para separar os efeitos das diferentes fases de perfuração relacionadas ao uso dos fluidos. Os efeitos significativos encontrados a partir dos testes aplicados no Capítulo 5, são detalhados quanto as componentes temporal, espacial e espaço-temporal..



## **2. ESTRATÉGIAS E TÉCNICAS EMPREGADAS NA ANÁLISE DOS DADOS**

A estatística aplicada refere-se às técnicas pelas quais os dados de natureza quantitativa são coletados, organizados, apresentados e analisados. O ponto central da análise estatística moderna é a tomada de decisões sob condições de incerteza.

A estatística descritiva inclui as técnicas que dizem respeito à síntetização e à descrição de dados numéricos. Tais métodos podem ser gráficos ou envolver análise computacional.

A estatística inferencial compreende as técnicas por meio das quais são tomadas decisões sobre uma população, decisões estas baseadas unicamente na observação de uma amostra ou na elaboração de um juízo. Devido ao fato de que as decisões são tomadas em condições de incerteza, requer-se, na estatística inferencial, o uso de conceitos de probabilidade. Enquanto as medidas características de uma amostra se denominam estatística da amostra, as medidas características de uma população, ou universo, denominam-se de parâmetros da população. O processo utilizado para medir as características de todos os membros de uma população recebe o nome de censo. Porém não podemos utilizar o mesmo quando referido a populações de informações no campo das geociências, desta forma é necessária uma adequação sobre os conceitos de probabilidade, para poder estabelecer qual é sua aplicação correspondente na inferência estatística.

Os métodos de inferência clássica referem-se à análise de dados (objetivos) amostrais, com a exclusão de qualquer juízo ou opinião pessoal. A inferência bayesiana permite incorporar na análise estatística o uso de juízos por parte do pesquisador, bem como coloca ênfase especial em possíveis atributos de maior ou menor possibilidade de observância do fato ou processo acontecer associadas com as decisões alternativas.

### **2.1 Delineamento BACI (Before-After, Control Impact)**

Em estudos ambientais, geralmente o conhecimento prévio das condições locais é de grande interesse, pois permite a comparação de possíveis mudanças resultantes do desenvolvimento de atividades antrópicas específicas, já que não todos os ecossistemas atualmente analisados estão em equilíbrio dinâmico sem estresse da presença do homem. As variabilidades espacial e temporal, muitas vezes desconhecidas, precisam ser observadas

e controladas. É fundamental na elaboração de um modelo estatístico a introdução destas duas componentes, já que na ausência das mesmas, poderemos estar atribuindo diferenças observadas a agentes não distinguíveis.

O delineamento amostral BACI (*Before-After, Control-Impact*) permite desenvolver a observação das variáveis, controlando as componentes espacial e temporal.

Para o estudo em execução, a estratégia amostral pressupõe abranger uma região localizada próxima ao poço exploratório, de amplitude máxima, definida como o limite de alcance dos registros da atividade de perfuração, conhecida como região de impacto. A região de referência está localizada a uma distância suficiente para preservar as condições ambientais naturais, independentes da atividade antrópica. Elas estão localizadas em uma região análoga ao *background*, independente da atividade de perfuração.

Utilizando a proposta BACI já consagrada mundialmente, ficou definido no Projeto MAPEM, que a região de impacto ficava originalmente limitada a um raio de 500 metros em torno do poço, região que estaria recoberta através de 48 estações de observação. A região utilizada para controle, a qual era considerada como de referência ficava localizada a 2500 metros do centro do poço. A mesma comportava seis estações de amostragem de referência: ficando situadas três estações ao Norte (N) e três ao Sul (S) do poço; neste caso a distribuição espacial obedeceu à profundidade. A localização e posição espacial das estações de amostragem, esta apresentada na Figura 2.1.1.(a) onde são observáveis, a posição em cada radial de distância, bem como as respectivas numerações. As localizações das estações de amostragem e a distinção entre as duas regiões propostas no estudo (de Impacto e de Referência) são observadas na Figura 2.1.1.(b).

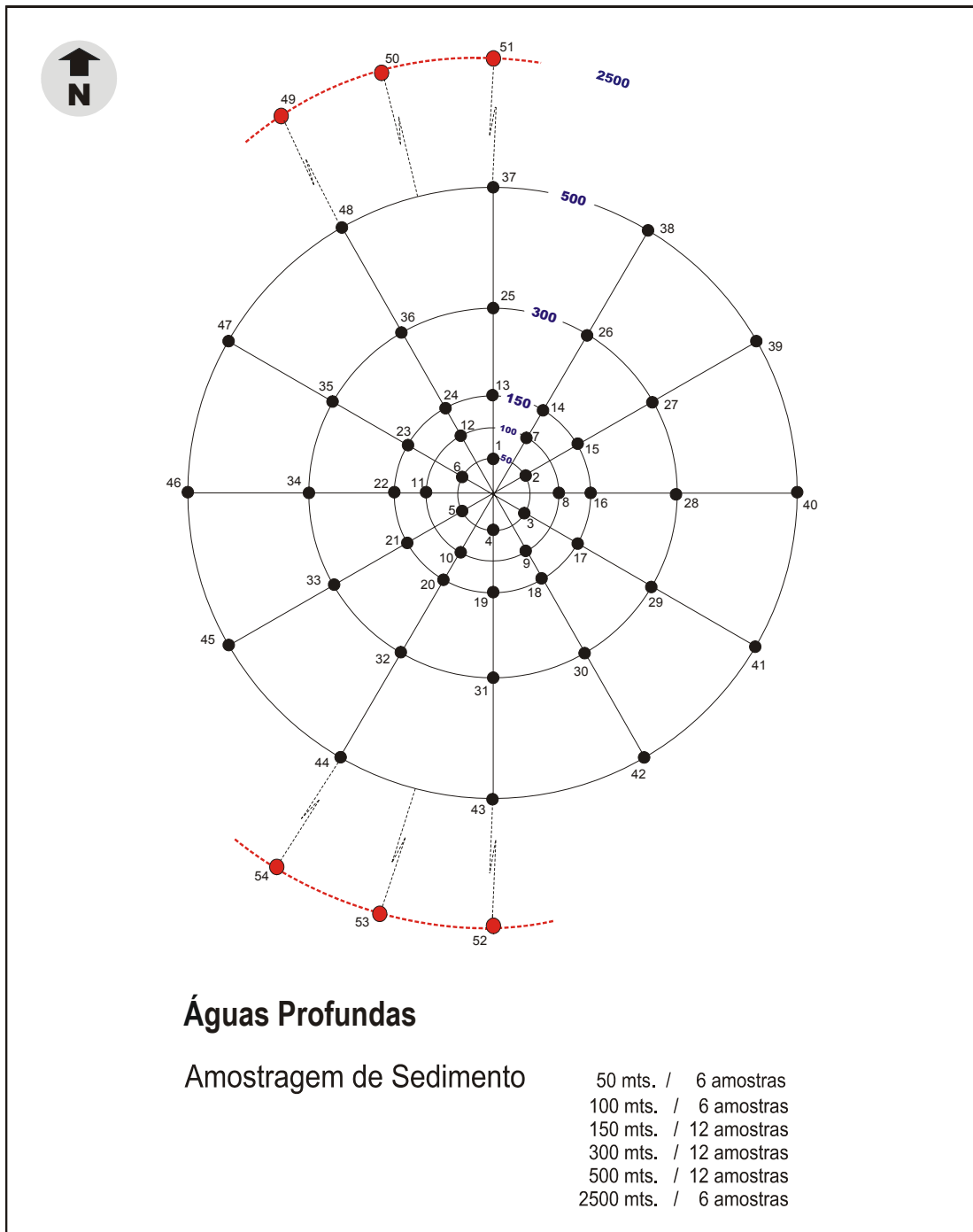


Figura 2.1.1(a). Localização das estações amostrais em cada radial de distância e a respectiva numeração. As estações de referência não estão na escala real.

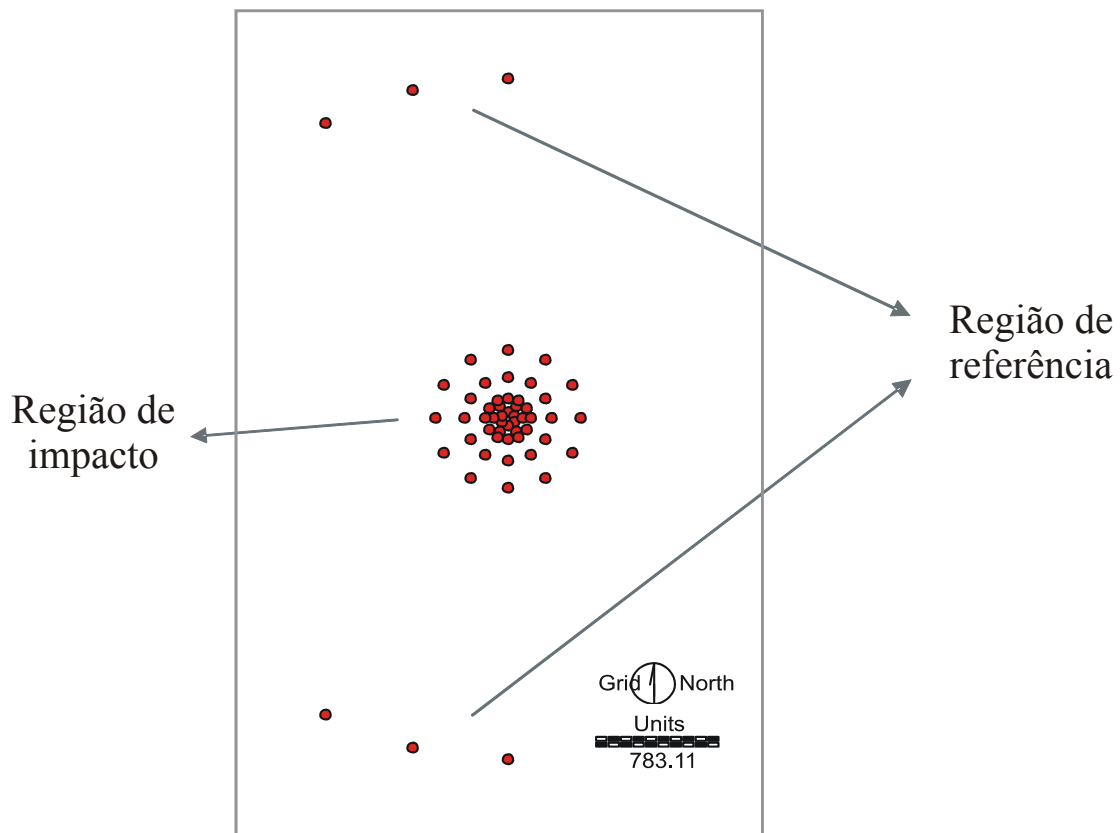


Figura 2.1.1(b). Localização das estações amostrais seguindo o delineamento BACI, com localização espacial georeferenciada das estações de referência.

A proposta original do delineamento BACI para o Projeto MAPEM, foi desenvolvida supondo que a deposição do material oriundo da perfuração não apresentaria direção predominante. A incerteza sobre o comportamento prévio desta componente em estudos com lâmina d'água de 900 metros em média, exigiu o adensamento amostral no círculo de 500 metros, independente de direção. Desta forma foram criados dois grupos distintos já descritos anteriormente: a área de possível impacto e a área de referência. O esquema amostral seguiu um delineamento não aleatório com pontos amostrais igualmente espaçados nos raios de 50, 100, 300, 500 e 2500 metros.

A distribuição espacial das amostras foi repetida três (3) vezes no tempo. A primeira observação da área de estudo ocorreu antes da atividade de perfuração. A segunda deu-se um (1) mês após o término da perfuração e a terceira ocorreu aproximadamente um (1) ano

após a segunda observação da área. Para cada cruzeiro um código foi atribuído. A sigla MD identifica o estudo em águas profundas e significa “MAPEM DEEP”. As observações realizadas antes da perfuração foram denominadas de MD1, e um mês após a perfuração MD2. As observações realizadas aproximadamente um (1) ano após o segundo cruzeiro (MD2), foram denominadas de MD3 (Fig 2.1.2).

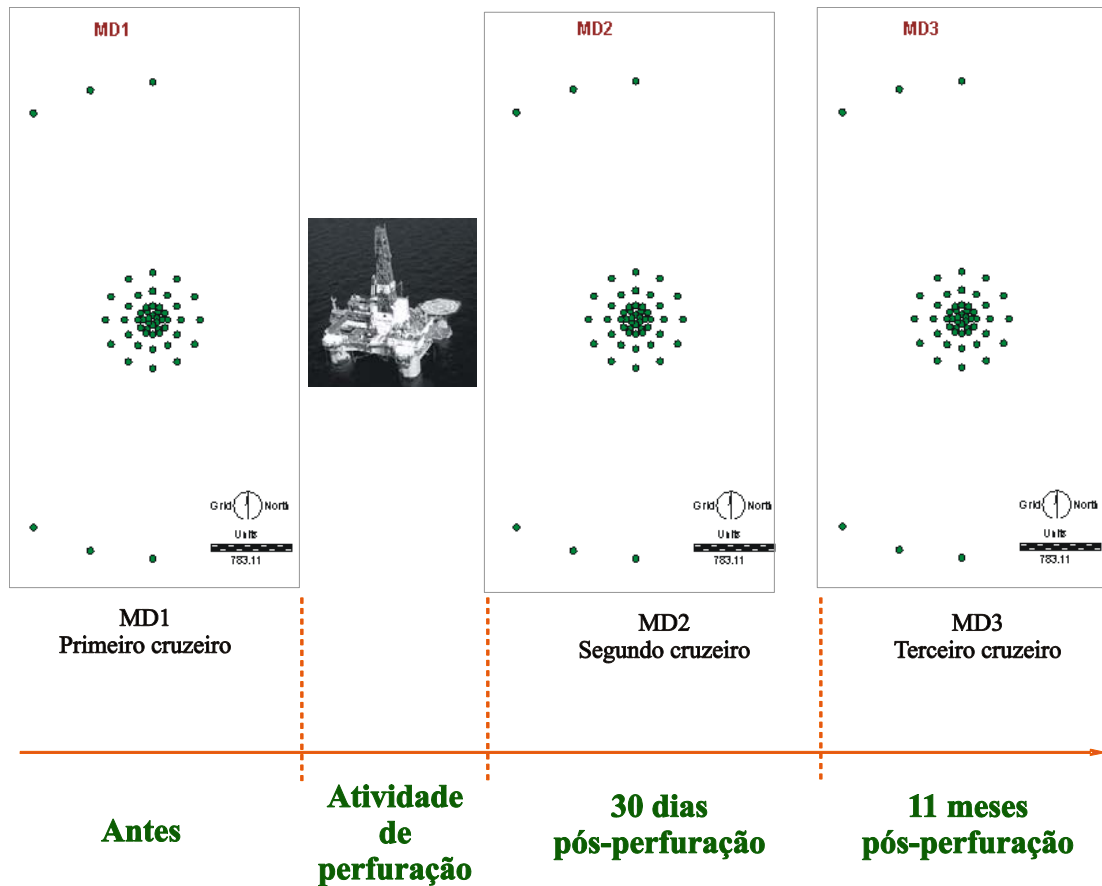


Figura 2.1.2. Delineamento amostral do Projeto MAPEM – Planejamento BACI.

O delineamento amostral foi planejado para que as coletas realizadas ao longo do tempo fossem repetidas no mesmo local, definido a priori, por um vetor de coordenadas para cada estação amostral.

Foi feito um esforço amostral para o posicionamento do *Box core* na mesma posição geográfica nos três cruzeiros (MD1, MD2 e MD3) (Fig. 2.1.3). As dificuldades decorrentes desta condição definida a priori (sobreposição espacial por medida pontual do *Beacon*) introduzem do ponto de vista pontual, um pequeno erro espacial na localização das

amostras ao longo do tempo. O erro máximo é definido pelo raio fixado a partir da localização apontada pelo vetor de coordenadas para cada estação. A circunferência em torno do alvo delimitou uma área para a unidade de observação de onde foram extraídas sucessivas amostras ao longo do tempo. Assim as repetições identificadas pelos cruzeiros (Operações de Amostragem) um (1), dois (2) e três (3) (MD1, MD2 e MD3) foram “pareadas” pelas condições ambientais da área como profundidade, correntes, entre outros, e definida pela proximidade das estações amostrais dentro de um erro admissível no processo de amostragem. A Figura 2.1.3 permite observar a localização das estações amostrais dentro do raio de 500 metros do poço e a batimetria do fundo no local estudado. Na referida figura também é possível constatar nas estações amostrais repetidas, sobre as mesmas condições ambientais, o alto grau de proximidade das estações amostrais no local previsto, indicando com isto, um pareamento entre as amostras observadas no tempo dentro da mesma área em torno das coordenadas propostas a priori.

O conjunto de análises dos dados no projeto MAPEM, avaliou o comportamento dos dois grupos de unidades amostrais, localizadas na região de impacto e na região de referência através das variáveis respostas observadas ao longo do tempo. Simultaneamente, o primeiro cruzeiro (MD1) foi utilizado como controle, independentemente das regiões de impacto e de referência.

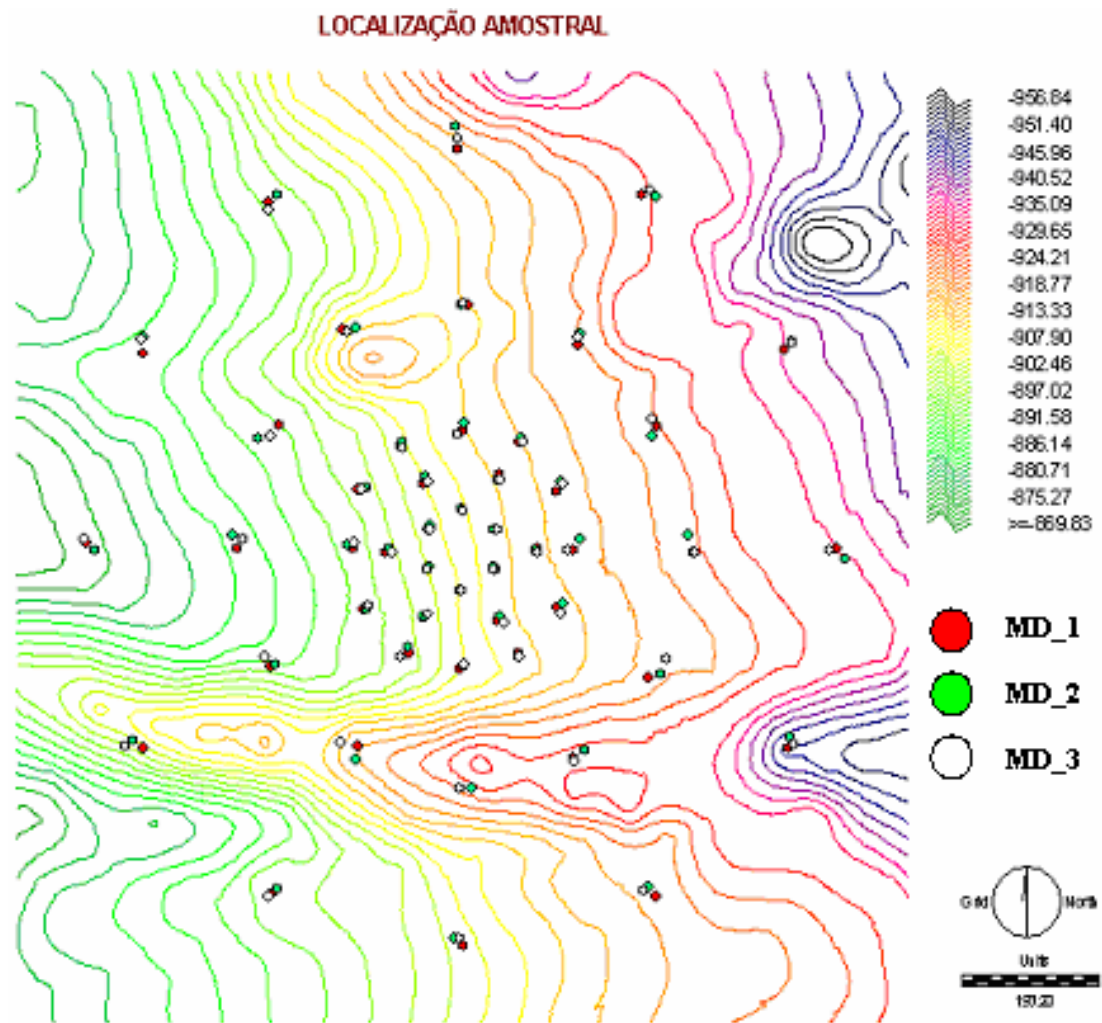


Figura 2.1.3. Localização das estações amostrais sobre a morfologia de fundo da área estudada.

## 2.2 Modelo Geoestatístico

### 2.2.1 Dados Geoestatísticos

O conjunto de valores observados de uma variável em locais ou pontos no espaço contínuo pode ser tratado como uma realização de um processo estocástico. Algumas suposições para a construção de um modelo Geoestatístico são necessárias, pois na maioria dos casos o tamanho da amostra é relativamente pequeno e pode se apresentar como uma restrição no momento de realizarmos inferência.

A forma básica para dados geoestatísticos é o conjunto

$$(s_i, z_i) : i = 1, \dots, n \quad (2.2.1)$$

onde  $s_i$  identifica a localização espacial e  $z_i$  a medida observada em  $s_i$ . Uma característica clássica em Geoestatística é que a medida para a variável  $z$  pode ser generalizada, por inferência, para uma região de estudo contínua. Além disto, nós devemos assumir que o delineamento amostral das locações  $s_i$  é determinística ou estocásticamente independente do processo que gerou as medidas  $z_i$ .

De acordo com Diggle e Ribeiro (2000), a forma básica de um modelo geoestatístico decorre de um processo estocástico  $Z(s) : s \in D$ , que é uma realização parcial de um processo estocástico  $Z(s) : s \in R^2$ . A medida  $Z_i$  pode ser considerada como uma versão ruído do processo estocástico subjacente  $S(s_i)$ , sendo o valor para a locação  $s_i$ , de um processo  $S(s) : s \in R^2$ . Assim o modelo básico pode ser estendido para um modelo com duas componentes: um processo estocástico  $S(s)$  e um modelo estatístico para as medidas  $Z = (Z_1, \dots, Z_n)$  condicional a  $S(s) : s \in R^2$ .

Da mesma forma podemos pensar nos dados Geoestatísticos como uma realização de um processo aleatório  $\{Z(s) : s \in D\}$ , onde  $D$  é um subconjunto fixo de  $R^d$ ,  $d$ -dimensional positivo, e  $s$ , variando continuamente sobre a região dada por  $D$ .

## 2.2.2 Suposições do modelo Geoestatístico

### 2.2.2.1 Estacionariedade

A primeira suposição do modelo Geoestatístico é que as amostras representam uma realização do processo estocástico. Para realizarmos inferência estatística com segurança, seria necessária uma amostra suficientemente grande que representasse a esperança média do fenômeno observado. Entretanto, aqui nós observamos somente uma realização do processo aleatório o que naturalmente é limitado. Poderíamos pensar que se realizássemos repetidas amostras sobre a mesma função aleatória, isto é, exatamente sobre o mesmo lugar no espaço nós poderíamos assumir que a esperança média descrita para as diversas realizações do processo aleatório seria uma medida aproximada para a superfície.



Com o objetivo de enfatizar a origem da aleatoriedade de  $\{Z(s): s \in D\}$  é possível escrever como  $\{Z(s; \omega): s \in D; \omega \in \Omega\}$ , onde  $(\Omega, F, P)$  é o espaço de probabilidade. A realização  $\{z(s): s \in D\}$ , corresponde a um valor particular de  $\omega$ . Nós assumimos que o processo estocástico  $\{Z(s): s \in D\}$  é estacionário sobre  $D$ . Matheron (1962) denominou a quantidade  $z(\cdot)$  como uma variável regionalizada como forma de caracterizar a continuidade espacial indicada em  $D$ .

O processo aleatório  $\{Z(s): s \in D\}$  é definido como uma distribuição finita-dimensional na forma,

$$F_{s_1, \dots, s_m}(z_1, \dots, z_m) \equiv P\{Z(s_1) \leq z_1, \dots, Z(s_m) \leq z_m\}, m \geq 1,$$

que precisa satisfazer as condições de simetria e consistência de Kolmogorov (Cressie, 1991).

Supondo que  $\mu(s) \equiv E(Z(s))$  existe para todo  $s \in D$ , chamamos  $\mu(\cdot)$  a tendência, algumas vezes denominada “drift”. A existência da  $\text{var}(Z(s))$  para todo  $s \in D$  permite definir estacionariedade de segunda ordem e estacionariedade intrínseca.

### 2.2.2.2 Estacionariedade de Segunda ordem

Estacionariedade de Segunda Ordem é também conhecida com estacionariedade fraca. Algumas suposições sobre  $Z$  precisam ser produzidas:

$$E(z(s)) = \mu, \text{ para todo } s \in D \tag{2.2.2}$$

ou que  $F_s(z) \equiv \Pr(z(s) \leq z)$  não depende de  $s$  sendo assim possível, estimar preditores lineares ótimos adicionado à suposição,

$$\text{cov}(Z(s_1), z(s_2)) = C(s_1 - s_2), \text{ para todo } s_1, s_2 \in D, \tag{2.2.3}$$

Definição: Se uma função aleatória  $Z(\cdot)$  satisfaz as condições  $E(z(s)) = \mu$  e  $\text{cov}(Z(s_1), z(s_2)) = C(s_1 - s_2)$ , ela pode ser definida como sendo estacionária de Segunda Ordem. Se  $C(s_1 - s_2)$  é somente função da distância euclidiana  $\|s_1 - s_2\|$  então  $C(\cdot)$  é classificada de “isotrópica”. O assunto isotropia será discutido posteriormente.

A detecção da continuidade espacial através de métodos descritivos facilita o estudo da superfície, buscando entender o comportamento do processo, identificando indícios sobre a homogeneidade da região. Quando a estacionariedade não pode ser confirmada, métodos alternativos podem ser aplicados como, a subdivisão de áreas em regiões mais homogêneas. Assim, se a amostra é suficientemente grande para fazer inferências, funções aleatórias podem ser modeladas baseadas na estacionariedade de Segunda Ordem.

### 2.2.2.3 Estacionariedade Intrínseca

Qual a forma de um modelo estatístico para o qual pretendemos realizar inferência sobre seus parâmetros? Supondo que os pontos no  $R^2$  são uma realização de um processo aleatório  $\{Z(s) : s \in D\}$  e que estas observações estão localizadas em  $s_i$  pontos para  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , então a estacionariedade intrínseca é definida pelas condições:

$$E(Z(s+h) - Z(s)) = 0, \quad (2.2.4)$$

$$\text{var}(Z(s+h) - Z(s)) = 2\gamma(h). \quad (2.2.5)$$

A hipótese de estacionariedade intrínseca é aplicável, quando o variograma existe. A variabilidade entre duas observações depende somente da distância entre eles, isto é se  $C(s_1 - s_2)$  é somente função da distância euclidiana  $\|s_1 - s_2\|$ .

A quantidade  $2\gamma(h)$  é conhecida como variograma e é de extrema importância na Geoestatística (ver Matheron, 1963b) e está definida por,

$$\hat{2\gamma}(h) \equiv \frac{1}{|N(h)|} \sum_{N(h)} (Z(s_i) - Z(s_j))^2, \quad (2.2.6)$$

onde a quantidade  $2\gamma(h)$  também pode ser calculada pelo estimador Robusto dado por,

$$2\gamma(h) \equiv \frac{\left\{ \frac{1}{|N(h)|} \sum_{N(h)} |Z(s_i) - Z(s_j)|^2 \right\}^4}{\left( 0.457 + \frac{0.494}{|N(h)|} \right)} \quad (2.2.7)$$

que será discutido com maiores detalhes na posteriormente.

Obs: Quando extraímos pares dos dados amostrais, originalmente estamos supondo que os dois pontos são originários de uma mesma distribuição. Se cada par é tratado como uma realização, então podemos usar todas as combinações possíveis de pares, criando um conjunto de repetições. Assim a estacionariedade da função aleatória é assumida, mas limitada aos lags amostrais observados.

#### 2.2.2.4 Ergodicidade

Processos caracterizados pela estacionariedade de segunda ordem são ergódigos. Ergodicidade é uma propriedade que permite uma estimação consistente a partir de amostras retiradas de uma única realização para um fenômeno contínuo gerado aleatoriamente. É assumida a suposição de que uma única realização é igual à média de todas as outras possíveis realizações do processo estocástico. Isto permite usarmos os dados amostrais para modelar a função aleatória e realizar estimação de parâmetros não tendenciosos bem como predição de valores para a característica estudada em locais não observados da superfície. Estas informações e mais detalhes sobre ergodicidade podem ser encontrado em Cressie (1993).

#### 2.2.2.5 Isotropia

Supomos que  $\{Z(s) : s \in D\}$  satisfaz  $E(Z(s)) = \mu$ , para todo  $s \in D$  e  $\text{var}(Z(s_1) - Z(s_2)) = 2\gamma(s_1 - s_2)$ , para todo  $s_1, s_2 \in D$ . Então  $Z(\cdot)$  satisfaz a hipótese

intrínseca de estacionariedade. Além disto, se  $2\gamma(s_1 - s_2)$  é uma função somente de  $\|s_1 - s_2\|$ , então  $2\gamma(\cdot)$  é chamado isotrópico.

Na condição de isotropia o variograma é o mesmo para todas as direções. Obtendo variogramas para diversas direções podemos investigar se eles coincidem com o variograma “omnidirecional” que calculado pela média ponderada dos variogramas para todas as direções. Se esta condição se realizar, nós podemos dizer que estamos com um processo isotrópico. Neste caso, as variações de pequena escala dependem somente da distância Euclidiana entre dois pontos.

#### **2.2.2.5 Anisotropia**

Quando um processo  $Z$  é anisotrópico, ou seja  $Z(s)$  e  $Z(s+h)$ , é uma função da distância e direção de  $h$ , o variograma não é somente uma função da distância entre duas observações localizadas espacialmente. Anisotropias são causadas por processos físicos subjacentes envolvendo diferenciação no espaço segundo Cressie (1993). Algumas vezes a anisotropia pode ser corrigida por uma transformação linear dos vetores de lag ( $h$ ).

No caso de considerar estacionariedade e evitar a suposição de isotropia, pode-se modelar a função de correlação para diferentes vetores entre locações amostrais,  $(u_1, u_2) = s - s'$ .

#### **2.2.2.6 Processo Gaussiano**

Quando nós temos um processo Gaussiano a estacionariedade de Segunda-Ordem e a estacionariedade forte coincidem. Um processo é fortemente estacionário quando sua lei de distribuição de probabilidade é invariante com a translação (Ferreira, 2002). Este processo é identificado pela média e pela função de covariância. A condição necessária para a suposição de ergodicidade é que  $C(h) \rightarrow 0$ , quando  $\|h\| \rightarrow \infty$  (Adler, 1981, p145).

Processos Gaussianos são importantes por duas razões. A primeira é que, reconhecendo um processo Gaussiano, impreterivelmente toda a análise objetivando predições, estimações e teoria de distribuições são facilitadas. A segunda razão diz respeito a considerações assintóticas onde efeitos de pequenas escalas podem ser aproximadamente normais pelas propriedades do teorema do limite central (Lindgren, 1976, p157).

Um processo estocástico  $S(s)$  é Gaussiano se a distribuição conjunta de  $S(s_1), \dots, S(s_n)$  é Gaussiana multivariada. O processo é estacionário se a esperança e a variância de  $S(s)$  é a mesma para todo  $s$  e a correlação entre  $S(s)$  e  $S(s')$  depende somente de  $s - s'$ . O processo é estacionário e isotrópico se, a correlação depende somente da distância euclidiana,  $u = \|s - s'\|$ .

Então um modelo Gaussiano estacionário para um conjunto de dados  $(s_i, z_i) : i = 1, \dots, n$  fica definido pelas seguintes suposições (Diggle & Ribeiro, 2000)

- i)  $\{S(s) : s \in R^2\}$  é um processo Gaussiano com média  $\mu$  variância  $\sigma^2$  e função de correlação  $\rho(u) = \text{Corr}\{S(s), S(s')\}$ , onde  $u = \|s - s'\|$ .
- ii) Condicional a  $\{S(s) : s \in R^2\}$  os  $z_i$  são realizações mutuamente independentes de  $Y_i$ , normalmente distribuídas com média condicional  $E[Z_i/S(\cdot)] = S(s_i)$  e variâncias condicionais  $\tau^2$ .

### 2.2.3 Modelagem da estrutura de covariância espacial

De acordo com (2.2.5),  $2\gamma(\cdot)$  é uma função que depende somente do incremento da distância entre duas observações e foi denominado variograma (Matheron, 1962). Assumindo que  $2\gamma(\cdot)$  existe, Cressie (1988a) denominou  $2\gamma(\cdot)$  como um parâmetro do processo aleatório  $Z(\cdot)$ . Geralmente os parâmetros são constituídos por um vetor de valores reais restritos ao espaço de parâmetros como por exemplo  $\sigma_2 \geq 0$ , e  $0 \leq p \leq 1$ .

Considerando o modelo acima, pretendemos aplicar técnicas que permitam realizar inferência sobre os parâmetros do modelo para os dados  $\{Z(s_1), \dots, Z(s_n)\}$  com localização espacial conhecida  $\{s_1, \dots, s_n\}$ .

Quando pretendemos entender o comportamento da estrutura de covariância espacial, estamos estudando as propriedades de segunda ordem. Estas propriedades são descritas pelas dependências espaciais entre observações vizinhas. Usualmente são utilizadas as funções de covariância e variograma no estudo. Em dados espaciais a covariância estará tratando dos desvios da característica observada em relação à respectiva

média em diferentes localizações no espaço. Esta abordagem está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas.

### 2.2.3.1 Efeito Pepita

Sob a suposição de isotropia  $\gamma(-h) = \gamma(h)$  e  $\gamma(0) = 0$  Matheron(1962) chamou  $c_0$  de *nugget effect* ou efeito pepita se  $\gamma(h) \rightarrow c_0 > 0$ , quando  $h \rightarrow 0$ . A origem do termo é devido ao efeito da variação em microescala, causada pela descontinuidade na origem. Matematicamente isto não pode acontecer para um processo contínuo  $L_2$ . Por exemplo  $E(Y(s+h) - Y(s))^2 \rightarrow 0$  com  $\|h\| \rightarrow 0$ . Consequentemente se a continuidade do fenômeno é esperada em microescala, a única razão possível para  $c_0 > 0$  é a ocorrência de erros de medição ou a não especificação correta do modelo. Neste caso a medida de erro da variância é indicada por  $c_{me}$ .

Na prática, temos que incluir o “efeito pepita” no modelo. Devemos considerar que somente os dados  $\{z(s_i) : i, 1, \dots, n\}$  são observados e nada pode ser dito pelo modelo de variograma sobre distâncias menores que  $\{\|s_i - s_j\| : 1 \leq i < j \leq n\}$ . Por isto não sabemos se a variação de microescala é contínua ou não. Sob a ótica matemática, para modelar o processo com escalas muito pequenas, Matherom adiciona um “ruído branco” com média zero, variância constante e covariância. Esta suposição é correta para casos de amostras que estão muito próximas, e que não foram observadas. A variância do “ruído branco” do processo indicada por  $c_{ms}$  representa o “efeito pepita” do processo em microescala. Desta forma,

$$c_0 = c_{ms} + c_{me}.$$

O comportamento do variograma próximo a origem é muito informativo sobre as propriedades de continuidade do processo aleatório  $Z(\cdot)$ .

Algumas são citadas por Matheron (1971b,p58):

- i.  $2\gamma(\cdot)$  é contínuo na origem. Então  $Z(\cdot)$  é  $L_2$ -contínuo. Claramente,  $E(Y(s+h) - Y(s))^2 \rightarrow 0$  se e somente se  $2\gamma(h) \rightarrow 0$ , com  $\|h\| \rightarrow 0$ .
- ii)  $2\gamma(h)$  não se aproxima de 0 com  $h$  se aproximando da origem, indica que  $Z(\cdot)$

é não invariável e,  $L_2$ -contínuo e altamente irregular. Esta descontinuidade de  $\gamma$  na origem é o “efeito pepita” discutido anteriormente.

iii)  $2\gamma(h)$  é uma constante positiva, exceto na origem onde ele é zero. Então  $Z(s_1), Z(s_2)$  são não correlacionados para algum  $s_1 \neq s_2$  independente da distância entre eles;  $Z(\cdot)$  é frequentemente chamado “ruído branco”.

No contexto de Geoestatística existem diversas formas de explorar e modelar a estrutura de dependência espacial dos dados. Algumas medidas se destinam a estudar a variabilidade espacial como o variograma e o cross-variograma. Outras formas exploram a continuidade espacial. Como por exemplo, o covariograma e o cross-variograma. A seguir definiremos brevemente algumas medidas usualmente utilizadas. Para maiores informações sobre o assunto, ver Cressie (1993).

### 2.2.3.2 Covariograma e o correlograma

Considerando o processo espacial estocástico  $\{Z(s), s \in D\}$ , a covariância deste processo para quaisquer dois pontos  $s_i$  e  $s_j$  é dada por (2.2.3). Ou analogamente,

$$C(s_i, s_j) = E((Z(s_i) - \bar{Z})(Z(s_j) - \bar{Z})) \quad (2.2.8)$$

Normalizando a covariância (2.2.8), obtemos a correlação dada por,

$$\rho(s_i, s_j) = \frac{C(s_i, s_j)}{\rho(s_i)\rho(s_j)} \quad (2.2.9)$$

Supondo média e variância constantes, a covariâncias depende somente do vetor  $h$  e então, a estimativa do covariograma é dada por,

$$\hat{C}(h) \equiv \frac{1}{|N(h)|} \sum_{N(h)} (Z(s_i) - \bar{Z})(Z(s_j) - \bar{Z}) \quad (2.2.10)$$

onde

$$\bar{Z} = \sum_{i=1}^n Z(s_i) / n \quad (2.2.11)$$

$\bar{Z}$  é um estimador para a média  $\mu$  e  $N(h)$  é o total de pares que tem entre si a mesma distância. Se  $C(h) \rightarrow 0$  com  $\|h\| \rightarrow \infty$ , como por exemplo quando  $Z(\cdot)$  é um processo Gaussiano Estacionário Ergódico, então  $2\gamma(h) \rightarrow 2C(0)$ . O parâmetro  $C(0)$  é denominado “patamar” ou *sill* do variograma. A fração *sill* é definida como  $C(0) - c_o$  onde  $c_o$  é conhecido por “efeito pepita” ou *nugget effect* como definido anteriormente. Com valores muito pequenos de  $\|r_o\|$  em  $2\gamma(r_o(1+\varepsilon)) = 2C(0)$ , para algum  $\varepsilon > 0$ , é chamado de “amplitude” ou “range” ou do variograma na direção  $r_o / \|r_o\|$ . Note que  $2\hat{\gamma}(h) \neq 2(\hat{C}(0) - \hat{C}(h))$  isto é, não preserva a propriedade  $2\gamma(h) = 2(C(0) - C(h))$ ; Entretanto, para  $|N(h)|/n$  próximo de 1, a diferença entre os dois será pequena.

Chamamos a função  $C(\cdot)$  de covariograma, ou função de autocovariância na análise de séries temporais. Deste modo para  $C(0) > 0$ ,  $\rho(h) = C(h)/C(0)$  é chamado de correlograma, ou função de autocorrelação. Esta expressão é tradicionalmente usada em séries temporais para diagnosticar não estacionariedade e a possível dependência estacionária no processo, condição necessária para o ajuste de um modelo. Sabemos que  $C(h) = C(-h)$ ,  $\rho(h) = \rho(-h)$  e  $\rho(0) = 1$ .

Considerando a relação  $\text{var}(Z(s_1) - Z(s_2)) = \text{var}(Z(s_1)) + \text{var}(Z(s_2)) - 2\text{cov}(Z(s_1), Z(s_2))$ , nós temos no modelo uma estrutura para o segundo momento do processo  $Z$ , como por exemplo as variâncias e covariâncias, ou seja, automaticamente é produzido um modelo para  $\text{var}(Z(s_1) - Z(s_2))$ . Se  $Z(\cdot)$  apresenta estacionariedade de segunda ordem,  $\text{var}(Z(s_1) - Z(s_2)) = 2\{C(0) - C(s_1 - s_2)\}$ , que implica que  $Z(\cdot)$  é intrinsecamente estacionário com,

$$2\gamma(h) = 2(C(0) - C(h)) \quad (2.2.12)$$



Então, em um processo estacionário há uma relação direta entre o variograma e o covariograma dada por

$$\gamma(h) = \sigma^2 - C(h) \quad (2.2.13)$$

onde na verdade, o variograma é definido pelo inverso do covariograma. O covariograma  $C(h)$  inicia com  $C(0) = \sigma^2$ , decrescendo para zero na medida em que a distância dada por  $h$  aumenta, e o variograma inicia em  $\gamma(0) = 0$ , crescendo até uma distância definida como alcance ou *range* para o valor igual a  $\sigma^2$  definido como patamar ou *sill*.

#### 2.2.3.4 Estimação do Variograma

A partir deste momento nós assumiremos que nossos dados  $\{Z(s_i) : i = 1, \dots, n\}$  podem ser modelados como um processo com estacionariedade intrínseca. Isto é, um processo que satisfaz  $E(Z(s)) = \mu$ , para todo  $s \in D$  e  $\text{var}(Z(s_1) - Z(s_2)) = 2\gamma(s_1 - s_2)$ , para todo  $s_1, s_2 \in D$ .

Muitas vezes a correlação é substituída por uma medida de variabilidade. Já vimos que a correlação diminui com o aumento da distância. Analogamente podemos imaginar que a variabilidade aumenta com o aumento da distância. A forma mais comum de medirmos a variabilidade espacial é através do variograma.

Assumindo média constante, um estimador natural baseado no método dos momentos, conforme Matheron (1962) é dados por:

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{|N(h)|} \sum_{N(h)} (Z(s_i) - Z(s_j))^2, \quad h \in R^d, \quad (2.2.14)$$

onde,

$$N(h) = \{(s_i, s_j) : s_i - s_j = h; i, j = 1, \dots, n\}$$

e  $|N(h)|$  é o número de pares distintos em  $N(h)$ . Note que cada valor para o variograma representa a média para o quadrado da diferença atribuído a cada par de observação para um distinto *lag*  $h$ . Embora  $N(-h) \neq N(h)$ , nosso interesse é que  $\hat{2\gamma}(-h) = \hat{2\gamma}(h)$ , o que de fato ocorre, preservando assim as propriedades teóricas do variograma. Note que na expressão acima não é preciso estimar a média  $\mu$ . Este estimador é denominado de estimador clássico de variograma (Cressie,1993).

Quando os dados são irregularmente espaçados no  $R^d$  o estimador do variograma é usualmente suavizados por

$$2\gamma^+(h(l)) \equiv \text{ave}\left\{(Z(s_i) - Z(s_j))^2 : (i, j) \in N(h); h \in T(h(l))\right\} \quad (2.2.15)$$

onde a região  $T(h(l))$  é a tolerância especificada na região  $R^d$  sobre  $h(l), l = 1, \dots, K$ , e  $\text{ave}\{\cdot\}$  denota uma possível média ponderada para todos os elementos em  $\{\cdot\}$ . A tolerância proposta deve ser a menor possível, com o objetivo de preservar a resolução espacial grande o suficiente para que o estimador  $2\gamma^+(\cdot)$  seja estável. Journel e Huijbregts (1978) recomendam que o número de pares distintos  $|\cup\{N(h) : h \in T(h(l))\}|$  em  $T(h(l))$  seja no mínimo 30. Então a região de tolerância deve ser escolhida procurando satisfazer ambas condições(Cressie,1993).

Muitas vezes as regiões  $\{T(h(l)) : l = 1, \dots, k\}$  são escolhidas por serem disjuntas. Isto é similar à suavização de um histograma por um conjunto de dados univariados. É natural então pensarmos na estimação do variograma como uma janela móvel, analogamente a um estimador de densidade Kernel (Rosenblatt 1985).

Outro ponto importante a ser considerado na estimação do variograma é que para valores crescentes de  $h$ ,  $N(h)$  aumenta, tornando maior a confiabilidade da estimativa de  $\gamma(h)$  para “lags” maiores. No entanto nosso maior interesse é sobre as estimativas produzidas para  $\gamma(h)$  com  $h$  pequenos, que são os menos confiáveis. Como o Estimador Clássico é fortemente afetado por valores atípicos (outliers), problemas de amostras pequenas para pares separados por distâncias pequenas igualmente apresentam problemas

com o estimador Clássico. Uma alternativa mais consistente na presença de tendência ou valores atípicos e/ou quando há restrição no tamanho do número de pares amostrais observados para o cálculo é conhecido na literatura como Estimador Robusto. Cressie e Hawkins (1980) propuseram uma forma mais robusta para estimação do variograma, através de uma distribuição aproximadamente simétrica.

Para um processo Gaussiano  $Z(\cdot)$ ,  $(Z(s+h) - Z(s))^2$  é distribuído como  $2\gamma(h) \cdot \chi_1^2$ , onde  $\chi_1^2$  é uma variável aleatória qui-quadrado com um grau de liberdade. Usando um conjunto de transformações propostas por Box e Cox (1964), Cressie e Hawkins (1980) acharam que a raiz quarta de  $\chi_1^2$  tem uma assimetria de 0.08 e uma curtose de 2.48, comparada com assimetria 0 e curtose 3 para uma distribuição Gaussiana.

Assim estimativas para as localizações, tal como a média e/ou a mediana podem ser aplicadas para os  $|N(h)|$  (número de pares distintos em  $N(h)$ ), transformando as diferenças

$\left\{ |Z(s_i) - Z(s_j)|^{\frac{1}{2}} : (i, j) \in N(h) \right\}$ . Estas estimativas são posteriormente elevadas na raiz quarta para retornar à escala correta e ajustar o viés.

Desta forma o estimador robusto do variograma dado é definido por

$$2\gamma(h) \equiv \frac{\left\{ \frac{1}{|N(h)|} \sum_{N(h)} |Z(s_i) - Z(s_j)|^{\frac{1}{2}} \right\}^4}{\left( 0.457 + \frac{0.494}{|N(h)|} \right)} \quad (2.2.16)$$

Geralmente é preferível estimar o variograma do que estimar o covariograma. Existem casos onde o variograma é definido quando o covariograma não é.

Por exemplo, vamos supor que os dados estão espaçados regularmente no  $R^1$  são representados como  $\{Z(s) : s = 1, \dots, n\}$ . A comparação é facilmente produzida neste caso, mas as conclusões podem ser generalizadas. O estimador do variograma clássico (2.2.14) é não viesado para  $2\gamma(\cdot)$  quando  $Z(\cdot)$  é intrinsecamente estacionário. Entretanto quando

$Z(\cdot)$  apresenta estacionariedade de segunda ordem  $\hat{C}(h)$  dado por

$$\hat{C}(h) \equiv \frac{1}{|N(h)|} \sum_{N(h)} (Z(s_i) - \bar{Z})(Z(s_j) - \bar{Z})$$

apresenta um viés da ordem de  $O(1/n)$ :

$E(\hat{C}(h)) = C(h) + O(1/n)$  (Fuller, 1976). Este viés pode contribuir substancialmente para o erro quadrático médio quando  $n$  é pequeno. O viés resultante pode ser estendido para um

modelo de tendência polinomial  $Z(s) = \sum_{j=0}^p \beta_j s^j + \delta(s)$ ,  $s \in R^1$ . Se usarmos o método dos mínimos quadrados ordinários para obter a estimativa para  $\beta \equiv (\beta_0, \dots, \beta_p)'$ , como por

exemplo  $\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Z$  onde  $X$  é uma matriz  $n \times (p+1)$  cujo  $(s, j)$  ésimio elemento são  $s^{j-1}$  elementos, para  $s = 1, \dots, n$  e  $j = 1, \dots, p+1$ . Neste caso os resíduos

$\hat{\delta}(s) \equiv Z(s) - (1, s, \dots, s^p) \hat{\beta}$ ,  $s = 1, \dots, n$ , podem ser usados no lugar de  $\{Z(s) : s = 1, \dots, n\}$  nas

equações (2.2.10) e (2.2.14) para se obter as estimativas para  $2\hat{\gamma}(\cdot)$  e  $\hat{C}(\cdot)$ . Cressie e Grondona (1992) mostraram que, para  $\delta(\cdot)$  um processo média móvel autoregressivo

estacionário, o viés para  $\hat{C}(h)$  é

$$-(p+1) \left\{ C(0) + 2 \sum_{h=1}^{\infty} C(h) \right\} / n + O((\log n)^{1+\alpha} / n^2), \alpha > 0.$$

Entretanto o viés para  $2\hat{\gamma}$  é  $O((\log n)^{1+\alpha} / n^2)$ ,  $\alpha > 0$ . Contudo o estimador do variograma baseado nos resíduos é um estimador viesado para o erro do variograma. No entanto este viés é menor que o viés correspondente para o estimador do covariograma.

Tradicionalmente o covariograma  $C(h)$  ou o correlograma  $\rho(h) = C(h)/C(0)$  podem ser estimados com precisão. Entretanto alguns cuidados são necessários:  $C(\cdot)$  e  $\rho(\cdot)$  são definidos quando  $Z(\cdot)$  apresenta estacionariedade de Segunda Ordem, mas eles podem não existir quando  $Z(\cdot)$  apresenta estacionariedade intrínseca. O correlograma, a função de covariância e o variograma são excelentes ferramentas para produzirmos estatísticas descritivas. Naturalmente o variograma é a escolha mais tradicional, dado suas

propriedades e vantagens, em relação aos demais, já discutidas anteriormente. Algumas vantagens do variograma sobre o covariograma são:

- i) não é preciso estimar a média do processo espacial;
- ii) o variograma geralmente está definido.

No entanto, é aconselhável, explorar a combinação destas medidas, especialmente quando encontramos alguma dificuldade em definir um bom variograma amostral.

#### 2.2.4 Modelos de variogramas teóricos

Geralmente quando trabalhamos com dados não espaciais, nós construímos um histograma ou um gráfico de probabilidade dos dados com o objetivo de propor alguma distribuição teórica para a população a partir da amostra. Isto nos permite realizar testes e concluir a respeito da população, evidentemente considerando suficiência amostral para isto. Equivalentemente, o variograma amostral construído a partir dos pares amostrais permite que possamos encontrar um modelo teórico que se assemelhe ao verdadeiro modelo populacional, que deriva de todos os possíveis pares de valores sobre toda a área de estudo.

Como nas distribuições de probabilidade, os modelos mais usuais apresentam restrições matemáticas para serem aplicáveis onde a maior parte destas restrições são intencionais, tendo como objetivo principal evitar problemas como estimativas de variâncias negativas.

Vários modelos paramétricos de variogramas são apresentados em Journel e Huijbregts (1978). Limitaremos este trabalho à descrição de alguns modelos como o Linear, Linear Generalizado, Esférico, Exponencial e o Gaussiano.

Modelo Linear, válido no  $R^d$   $d \geq 1$ :

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0, \\ c_0 + b_l \|h\|, & h \neq 0, \end{cases} \quad (2.2.17)$$

$\theta = (c_0, b_l)'$ , onde  $c_0 \geq 0$  e  $b_l \geq 0$ .

Este é um modelo simples, constituído de uma linha reta com uma declividade positiva e um intercepto maior ou igual a zero.  $\gamma$ , representa o valor no variograma para uma determinada distância  $h$ . O parâmetro  $b_l$  representa a inclinação da linha e  $c_0$  é o “efeito pepita” .

Modelo Esférico, válido no  $R^1, R^2$  e  $R^3$

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0, \\ c_0 + c_s \left\{ \left( \frac{3}{2} \right) \left( \frac{\|h\|}{a_s} \right) - \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{\|h\|}{a_s} \right)^3 \right\}, & 0 < \|h\| \leq a_s, \\ c_0 + c_s, & \|h\| \geq a_s, \end{cases} \quad (2.2.18)$$

$\theta = (c_0, c_s, a_s)'$ , onde  $c_0 \geq 0$ ,  $c_s \geq 0$  e  $a_s \geq 0$  e

$c_0 = \text{efeito pepita}$ ,  $c_s = \text{patamar}$  e  $a_s = \text{alcance}$

Este foi o primeiro modelo proposto por Matheron (1962). Ele possui a característica de ser uma função cúbica que possibilita o cálculo de volumes. O  $\gamma$  é o variograma e  $h$  é a distância entre dois pontos. O  $a_s$  é denominado de alcance ou *range* e pode ser interpretado como o limite onde os pares de amostras estão correlacionados. Valores do variograma maiores que  $a_s$ ,  $h > a_s$ , não apresentam correlação espacial.

Modelo Exponencial, válido no  $R^d$ ,  $d \geq 1$

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0, \\ c_0 + c_e \{1 - \exp(-\|h\|/a_e)\}, & h \neq 0, \end{cases} \quad (2.2.19)$$

$\theta = (c_0, c_e, a_e)'$ , onde  $c_0 \geq 0$ ,  $c_e \geq 0$  e  $a_e \geq 0$  e

$c_0 = \text{efeito pepita}$ ,  $c_e = \text{patamar}$  e  $a_e = \text{alcance}$

O modelo exponencial decai na medida que aumenta a distância dos pares amostrais dado pelo vetor  $h$ . O modelo exponencial tem três parâmetros a serem estimados. Apesar do parâmetro  $a_e$  estar definido como “alcance”, não é possível interpretarmos da mesma forma que o modelo esférico. A distância dada por  $a_e$  não está associada a distância máxima de dependência entre amostras. Na realidade o modelo exponencial atinge  $a_e$  com  $2/3$  (dois terços) da elevação. Já a distância necessária para atingir assintoticamente  $c_e$  definido como patamar ou *sill* é calculada numa razão de 4 a 5 vezes a distância de  $a_e$ .

Modelo Gaussiano, válido no  $R^d$ ,  $d \geq 1$

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0, \\ c_0 + c_g \left( 1 - e^{-\left(\|h\|/a_g\right)} \right) & h \neq 0, \end{cases} \quad (2.2.20)$$

$\theta = (c_0, c_g, a_g)'$ , onde  $c_0 \geq 0$ ,  $c_g \geq 0$  e  $a_g \geq 0$  e

$c_0 = \text{efeito pepita}$ ,  $c_g = \text{patamar}$  e  $a_g = \text{alcance}$

Este modelo se ajusta relativamente bem em situações caracterizadas por grande continuidade, ou analogamente, ao caso de um grande número de amostras separadas por distância muito pequenas sobre a região de estudo. O modelo descreve uma curva similar a uma distribuição normal acumulada. Daí a origem do nome “Gaussiano”. Da mesma forma que os modelos anteriores,  $\gamma$  é o variograma e  $h$  é a distância de interesse entre dois pontos,  $a_g$  representa o “alcance”  $c_g$  o “patamar” e  $c_0$  o “efeito pepita”. Igualmente ao modelo exponencial, nós não podemos interpretar o parâmetro  $a_g$  como a amplitude máxima de dependência entre as amostras. O modelo Gaussiano precisa de  $2/3$  (dois terços) da elevação para atingir  $\sqrt{a_e}$ . Já a distância necessária para atingir assintoticamente  $c_e$  definido como patamar ou *sill* é calculada numa razão de 4 a 5 vezes a distância de  $a_e$ .

O “modelo linear” é diferenciável em seus parâmetros. O esférico, exponencial, Gaussiano são modelos não lineares, em seus parâmetros, mas diferenciáveis.

A condição adicional que um modelo de variograma deve satisfazer é (Matheron, 1971b).

$$2\gamma(h)/\|h\|^2 \rightarrow 0, \text{ com } \|h\| \rightarrow \infty \quad (2.2.20)$$

como de fato ocorre no “Modelo Power” ou também conhecido como “Modelo linear Generalizado”.

Modelo Linear Generalizado , válido no  $R^d$   $d \geq 1$  :

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0, \\ c_0 + b_l \|h\|^{\lambda_l}, & h \neq 0, \end{cases} \quad (2.2.21)$$

$\theta = (c_0, b_l, \alpha)'$ , onde  $c_0 \geq 0$ ,  $b_l \geq 0$  e  $0 \leq \lambda_l \leq 2$ .

Este é uma generalização do modelo linear.  $\gamma$ , representa o valor no variograma para uma determinada distância  $h$ . O parâmetro  $b_l$  representa a inclinação da linha e  $c_0$  o “efeito pepita”. Nós introduzimos o parâmetro  $\lambda_l$  no modelo linear, que produz um crescimento não linear no vetor  $h$ . Por razões matemáticas (2.2.20) este modelo somente pode fornecer “amplitudes” para  $0 \leq \lambda_l \leq 2$ . O modelo linear Generalizado é igual ao modelo linear quando  $\lambda_l = 1$ .

## 2.2.5 Métodos de estimação paramétrica para a estrutura de covariância espacial.

### 2.2.5.1 Método de Máxima Verossimilhança

Supomos que alguns subconjuntos de variogramas válidos podem ser escritos como

$$P = \{2\gamma : 2\gamma(\cdot) = 2\gamma(\cdot; \theta); \theta \in \Theta\}. \quad (2.2.22)$$

No procedimento de estimação por Máxima Verossimilhança (M.L.), e Máxima Verossimilhança Restrita (REML) é fundamental que a suposição sobre o processo



Gaussiano esteja satisfeita, para que possamos estimar  $\theta$ . O problema da estimação por Máxima Verossimilhança (M.L.) é que os estimadores para  $\theta$  são viesados, sendo seu uso proibitivo no caso de pequenas amostras (Matheron, 1971b; Mardia e Marshall, 1984). Um caso simples quando os dados  $Z$  são de fato Gaussiano Multivariado e independentes,  $Gau(X\beta, \sigma^2 I)$ , permitindo assim uma escala de variação razoavelmente pequena, o parâmetro  $\theta = \sigma^2$ . O estimador de máxima verossimilhança para  $\theta$  é  $\hat{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n (Z(s_i) - X\hat{\beta})^2 / n$ , onde  $\hat{\beta}$  é o estimador de Mínimos Quadrados Ordinários para o vetor  $\beta$  de dimensão  $q \times 1$ . É sabido que  $\hat{\sigma}^2$  é viesado, e que  $(n/(n-q))\hat{\sigma}^2$  é não viesado. Então o fator de correção para o viés pode ser apreciável quando  $q$  é relativamente grande em  $n$ .

Generalizando, supomos que os dados  $Z$  são Gaussianos multivariado  $Gau(X\beta, \sum(\theta))$ , onde  $X$  é uma matriz  $n \times q$  com  $q < n$  e que  $\sum(\theta) = (\text{cov}(Z(s_i), Z(s_j)))$  é uma matriz  $n \times n$ , que depende somente de  $\theta$  conforme (2.2.22), então o “log” negativo da Máxima Verossimilhança

$$L(\beta, \theta) = (n/2) \log(2\pi) + (1/2) \log |\sum(\theta)| + (1/2) (Z - X\beta)' \sum(\theta)^{-1} (Z - X\beta) \quad (2.2.23)$$

com  $\beta \in \mathbb{R}^q, \theta \in \Theta$ , é o estimador de Máxima Verossimilhança (m.l.)  $\hat{\beta}$  e  $\hat{\theta}$  satisfaz

$$L(\hat{\beta}, \hat{\theta}) = \inf \left\{ L(\beta, \theta) : \beta \in \mathbb{R}^q, \theta \in \Theta \right\} \quad (2.2.24)$$

No entanto, muitos autores relatam que o estimador para  $\theta$  pelo método m.l. é seriamente viesado.

### 2.2.5.2 Máxima Verossimilhança Restrita (REML)

No caso de um processo uni-dimensional com os dados espaçados uniformemente, Kitandis e Vomvoris (1983), propuseram que, a maximização da função de verossimilhança para os dados  $W \equiv (Z(1) - Z(2), Z(2) - z(3), \dots, Z(n-1), z(n))'$  será equivalente a minimizar

$$L_w(\beta, \theta) = ((n-1)/2) \log(2\pi) + (1/2) \log |A' \Sigma(\theta) A| \\ + (1/2) (W - A' X \beta)' (A' \Sigma(\theta) A)^{-1} (W - A' X \beta), \quad (2.2.25)$$

onde  $A = (a_{ij})$  é uma matriz  $(n \times 1)$  cujo os elementos são

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{para } i = j, j = 1, \dots, n-1, \\ -1, & \text{para } i = j+1, j = 1, \dots, n-1, \\ 0, & \text{para os demais} \end{cases}$$

assumindo que o processo  $Z(\cdot)$  tem média constante  $\mu$ , então  $A' X \beta = 0$  desde que  $L_w$  não dependa de  $\beta$ . Sacrificando uma observação  $W$  terá  $n-1$  elementos ao passo que  $Z$  terá  $n$  elementos, e neste caso o estimador de  $\theta$  baseado em  $L_w$  terá vantagens em suas propriedades sobre o viés. Quando os elementos de  $Z$  são i.i.d.  $Gau(\mu, \sigma^2)$ , o valor para  $\sigma^2$  que minimiza  $L_w$  será  $(n/(n-1))\sigma^2$ , que é o viés corrigido do estimador máxima verossimilhança, m.l..

Minimizando  $L_w(\beta, \theta)$  (2.2.25) para estimar  $\theta$  temos um caso especial de um método conhecido como Máxima Verossimilhança Restrita (REML), desenvolvido por Patterson e Thompson (1971, 1974).

É importante ressaltar que os métodos que utilizam a função de verossimilhança aproveitam toda informação amostral, decorrente do cálculo de todos os possíveis pares para todas as possíveis direções, não se limitando ao variograma escolhido, que é uma média ponderada para os lags e direção escolhida.

### 2.2.5.3 Método de Mínimos Quadrados

Visualmente e matematicamente o ajuste do modelo pelo método de mínimos quadrados é uma suavização do variograma amostral. O objetivo é criar um modelo parametrizado para o padrão de dependência espacial a partir das medidas do processo espacial. O modelo parametrizado pode estimar distâncias vizinhas melhor que variograma

amostral, suavizando possíveis inconsistências. No entanto o objetivo principal é estimar valores para cada lag individualmente proporcionando assim a descrição da continuidade e variabilidade do processo espacial a partir do variograma proposto.

Por exemplo, dado  $\left\{ (h, \hat{2\gamma}(he)) : h = H(1), \dots, h(k) \right\}$  procuraremos ajustar uma curva sobre

o variograma teórico plotado. Sem considerar o método de ajuste, é possível realizar uma comparação do plot com o variograma experimental e os valores do variograma teórico ajustado. Este procedimento pode ser caracterizado como uma ferramenta de diagnóstico altamente recomendável. O algoritmo proposto (David, 1977, secção 6.1 e 6.2; Journel e Huijbregts, 1978, Secção III.C.6 e capítulo IV; Clark, 1979, capítulo 2) para medir o ajuste através da soma de quadrados das diferenças, entre o estimador do variograma  $2\gamma^\#(he)$  e o modelo  $2\gamma(he; \theta)$  (Cressie, 1993) onde,  $2\gamma^\#(he)$  é o estimador do variograma para determinada direção  $e$ .

#### 2.2.5.4 Método de Mínimos Quadrados Ordinários

O método de mínimos quadrados ordinários especifica que  $\theta$  é estimado pela minimização de

$$\sum_{j=1}^K \left\{ 2\gamma^\#(h(j)e) - 2\gamma(h(j)e; \theta) \right\}^2 \quad (2.2.26)$$

para alguma direção  $e$ . Múltiplas direções podem ser calculadas para (2.2.26) pela soma de diferenças quadradas. Posteriormente, um estimador de mínimos quadrados ordinários é obtido para  $\theta$ .

#### 2.2.5.5 Método dos Mínimos Quadrados Generalizados

Supomos que o estimador do variograma  $2\gamma^\#(\cdot)$  é obtido com  $K$  lags  $h(1), \dots, h(k)$ , onde  $K$  é fixado. Sendo a contribuição no estimador para cada lag maior que 30 (Journel e

Huijbregts, 1978, p. 194),  $2\gamma(h;\theta)$  será um modelo de variograma de forma exata conhecida, exceto para os parâmetros desconhecidos  $\theta$  (Cressie,1993).

O método de Mínimos Quadrado Ordinário é um procedimento numérico que tem como atrativo a interpretação geométrica. Para conservar a geometria introduzindo também o conceito de covariação no procedimento, consideremos o critério de Mínimos Quadrados Generalizados (G.L.S.). Supomos  $2\gamma^\# \equiv (2\gamma^\#(h(1)), \dots, 2\gamma^\#(h(K)))'$ , um vetor de variáveis aleatórias  $K \times 1$  com uma matriz de variâncias  $\text{var}(2\gamma^\#) = V$  que pode depender de  $\theta$ . Então, escolhe-se o valor para  $\theta$  que minimize

$$(2\gamma^\# - 2\gamma(\theta))'V^{-1}(2\gamma^\# - 2\gamma(\theta)), \quad (2.2.27)$$

onde  $2\gamma(\theta) \equiv (2\gamma(h(1);\theta), \dots, 2\gamma(h(K);\theta))'$  é o modelo teórico calculado com lags  $h(1), \dots, h(k)$ . Chamamos o estimador de  $\theta_V^\#$ .

O método de Mínimos Quadrados Generalizados usa assintoticamente a estrutura de segunda ordem para estimar o variograma e não produz suposições sobre a distribuição dos dados. Carroll e Ruppert (1982) mostraram que o método possui propriedades mais robustas que o método de Máxima Verossimilhança (M.L.), quando a distribuição de  $Z$  não é especificada.

#### 2.2.5.6 Método dos Mínimos Quadrados Ponderados

Juntamente com o estimador de Mínimo Quadrados Ordinários  $\theta_V^\#$  e o estimador de Mínimo Quadrados Generalizados  $\theta_V^\#$ , temos o estimador de Mínimo Quadrados Ponderados (WLS)  $\theta_\Delta^\#$ , onde

$$\Delta \equiv \text{diag}\{\text{var}(2\gamma^\#(h(1))), \dots, \text{var}(2\gamma^\#(h(K)))\}, \quad (2.2.28)$$

é uma matriz diagonal  $K \times K$ , com as variâncias especificadas ao longo da diagonal.

A ponderação da soma de quadrados para as diferenças entre os valores do variograma amostral e o modelo do variograma é um método usual e que proporciona um bom ajuste entre as duas equações. Uma opção dá uma ponderação para cada *lag* proporcional ao número de pares que contribuíram para o respectivo cálculo. Esta opção assume que a confiança do variograma amostral aumenta com o aumento do número de pares. Um segundo método, aplica pesos maiores para *lags*, mais preciosos ou mais raros. É comum *lag* que apresentam menos pares serem os mesmo onde a distância  $h$  é menor. Isto determina uma importância maior no ajuste de um modelo final para a continuidade espacial. Neste caso as ponderações são calculadas dividindo-se o número de pares pelo quadrado da variância  $V(z)$  para o *lag* do variograma amostral.

#### **2.2.5.5 Comentário sobre a função de verossimilhança e o método de estimação Bayesiana.**

O método de maximização da função de verossimilhança é ponto principal das duas formas de inferência a Clássica e a Bayesiana. Entretanto a aplicação da função de verossimilhança na inferência Bayesiana difere sensivelmente da forma aplicada a inferência Clássica. Supomos que uma família de modelos indexados pelo parâmetro de interesse  $\theta$  geram os dados  $Z$ . O logaritmo da função de verossimilhança  $l(\theta; Z)$  é o logaritmo da distribuição de probabilidade conjunta de  $Z$  como uma função de  $\theta$ . Na inferência Bayesiana o parâmetro de interesse  $\theta$  também é considerado uma variável aleatória. Neste caso a função de verossimilhança representa distribuição condicional de  $Z$  dado  $\theta$ . Para completar a especificação da distribuição conjunta para  $Z$  e  $\theta$  é necessário especificar a distribuição marginal de  $\theta$ , definida como  $p(\theta)$ . A partir da aplicação do teorema de Bayes, é possível calcular a distribuição condicional de  $\theta$  dados  $Z$  utilizando a igualdade

$$[Z, \theta] = [Z / \theta][\theta] = [Z][\theta / Z] \quad (2.2.29)$$

desta forma

$$[\theta/Z] = [Z/\theta][\theta]/Z \quad (2.2.30)$$

onde

$$[Z] = \int [Z/\theta][\theta]d\theta \quad (2.2.31)$$

O paradigma inferencial Bayesiano pode desta forma ser conduzido da seguinte forma: Antes de nós observarmos  $c$ , a distribuição marginal  $P(\theta)$  expressa a nossa incerteza a respeito do parâmetro. Denomina-se  $p(\theta)$  a distribuição a priori para  $\theta$ . Na formulação de uma expressão para o logaritmo da verossimilhança  $l(\theta; Z)$  especifica-se um ligação entre o valor desconhecido de  $\theta$  e os resultados dos dados observados  $Z$ . Neste momento  $Z$  é conhecido, permitindo uma revisão a respeito da incerteza sobre o parâmetro  $\theta$  agora condicional ao valor observado em  $Z$ . A distribuição de  $\theta$  dado  $Z$  e denominada como distribuição a posteriori para  $\theta$ . Esta distribuição de probabilidade condicional é utilizada para produzir inferência a respeito de  $\theta$  (Diggle e Ribeiro, 2000).

### **2.3 Predição Espacial utilizando métodos da inferência Clássica e Bayesiana. A Krigeagem Simples, Ordinária e a predição Bayesiana como técnica estatística para previsão de valores para locais não observados.**

“Como nós podemos predizer o melhor valor para uma localização não amostrada dado os valores observados em locações vizinhas?” (Clark, 2000).

Considerando que temos um bom modelo para o componente de variabilidade, que incorpore a estrutura de dependência espacial dos dados com fidelidade, precisamos decidir por um bom modelo para predição de valores em locais não amostrados. Como já vimos, o processo de modelagem envolve entre outros procedimentos, identificar “tendências globais”, utilizando algum modelo para extrair esta componente dos dados. Por exemplo, modelos de “Regressão Múltipla” ou “Regressão Local Ponderada”. Através dos dados na forma em que foram observados ou de resíduos gerados por modelos de regressão é

possível caracterizar as dependências espaciais, identificando uma componente com estrutura de covariâncias entre as amostras.

Neste momento estamos interessados em descrever duas formas para prever os valores em locais não observados: a Krigagem Simples e a Krigagem Ordinária.

### 2.3.1 Krigagem Simples

A modelagem definida como “Krigagem Simples” assume que a média é conhecida a “priori”. A forma para estimar valores próximos não observados é através de uma combinação linear ponderada pela distância dos valores incluídos na predição em relação ao local predito. A forma geral para o estimador ótimo (não viesado) é,

$$T^* = \sum_i^m \omega_i z_i + \left(1 - \sum_{i=1}^m \omega_i\right) \mu \quad (2.3.1)$$

onde

$T^*$  = locação a ser predita,  $z_i$  = valor observado na locação  $i$ ,  $\omega_i$  = peso para observação  $z_i$  e  $\mu$  é a média geral conhecida a priori.  $m$  é o número de observações que contribuem na predição do local  $T^*$ .

O estimador da variância é

$$\sigma^2 = 2 \sum_{i=1}^m \omega_i \gamma(z_i, T) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \omega_i \omega_j \gamma(z_i, z_j) - \gamma(T, T) \quad (2.3.2)$$

onde as ponderações são encontradas pela solução da equação abaixo,

$$\sum_{j=1}^m \omega_j \gamma(z_i, z_j) = \gamma(z_i, T) \quad (2.3.3)$$

para  $i = 1, \dots, m$ . cada equação pode ser escrita como

$$\omega_1\gamma(z_i, z_1) + \omega_2\gamma(z_i, z_2) + \dots + \omega_m\gamma(z_i, z_m) = \gamma(z_i, T) \quad (2.3.4)$$

assim nós temos  $m$  equações para resolver, com isto obtendo  $m$  ponderações.

Um ponto importante é que nós precisamos uma restrição matemática para atender uma necessidade estatística que vá de encontro com o variograma. É necessário para o modelo do variograma que seja condicional positivo definido, para garantir que a estimativa de variância seja positiva.

Matheron denominou este estimador como *Simple Kriging* ou Krigeagem simples em homenagem a Danie Krige que já trabalhava com modelos móveis e covariâncias empíricas.

### 2.3.2 Krigeagem Ordinária

Neste caso nossa intenção é produzir um estimador para localizações não observadas, que tenha a característica de ser uma média ponderada de observações vizinhas. Nesta nova circunstância nós não poderemos introduzir a média populacional como fator auxiliar na predição, pois desconhecemo-la. Se pensarmos como um modelo de regressão, entenderemos que a predição irá suavizar o nosso mapa predito. Valores altos e valores baixos observados tenderão a ser preditos com maior proximidade da média observada. No caso de Krigeagem Simples a ponderação é “calibrada” por uma relação com média populacional reduzindo estimativas altas e incrementado estimativas baixas, em direção a verdadeira média populacional, conhecida a “priori”.

Matheron mostrou, que para nós termos melhores estimativas, o lógico é que,

$$T^* = \omega_1 z_1 + \omega_2 z_2, \dots, + \omega_m z_m \quad (2.3.5)$$

onde

$$\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_m = 1 \quad (2.3.6)$$

e a variância do estimador é dada por,



$$\sigma_e^2 = 2 \sum_{i=1}^m \omega_i \gamma(z_i, T) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \omega_i \omega_j \gamma(z_i, z_j) - \gamma(T, T) \quad (2.3.7)$$

onde nós precisamos de alguma forma minimizar esta função. Para isto o conjunto definido pelo somatório deve ser diferenciável. Em sendo diferenciável é possível provar algébricamente que nós teremos o mínimo, que é de fato o que procuramos para  $\sigma_e^2$ . Isto fornece para nós  $m$  equações para a solução de  $m$  ponderações. Um acréscimo na complexidade dos cálculos se dá pelo fato de que estamos trabalhando com a restrição de que a soma dos pesos deve dar 1, conforme (2.3.6). Então nós temos  $m + 1$  equações para resolver. Através de um “truque” algébrico é possível completar os quadrados e realizar os cálculos necessários. A técnica aplicada no cálculo é conhecida como “Método dos Multiplicadores de Lagrange”.

Podemos lembrar do caso da Krigagem Simples, onde nós encontrávamos os pesos para cada equação e, posteriormente resolvíamos o sistema simultaneamente. No caso da Krigagem Ordinária podemos ver da mesma forma, com exceção de que teremos um termo definido por  $\lambda$  (lambda) desconhecido em cada uma das equações. As equações do sistema têm a forma,

$$\frac{\partial}{\partial \omega_i} = 2\gamma(s_i, T) - 2\{\omega_1 \gamma(s_i, s_1) + \dots + \omega_m \gamma(s_i, s_m)\} - 2\lambda = 0 \quad (2.3.8)$$

dividindo todo o termo por dois (2) nós temos,

$$\omega_1 \gamma(s_i, s_1) + \omega_2 \gamma(s_i, s_2) + \dots + \omega_m \gamma(s_i, s_m) + \lambda = \gamma(s_i, T) \quad (2.3.9)$$

Fazendo isto para cada ponderação, nós teremos gerado  $m$  equações com  $m + 1$  incógnitas. A última equação vem da minimização da expressão com respeito a  $\lambda$ . Derivando em relação a  $\lambda$  o total para  $\sigma_e^2$  desaparece, o mesmo acontecendo com  $\lambda$ , restando o termo definido por,

$$2(\sum \omega_i - 1) = 0$$

ou  $\sum \omega_i = 1$  (2.3.10)

que é exatamente o que precisamos. Este processo foi definido originalmente por Matheron como “Krigagem Ordinária” (Clark, 2000).

Este processo nos permitirá encontrar um modelo para o estimador de uma localização não observada que será uma média ponderada pelas observações vizinhas e que terá como característica ser não viesado, desde que a restrição dada por (2.2.38) esteja atendida. A variância estimada pela “Krigagem Ordinária” será maior que a variância estimada pela “Krigagem simples”. Este é o “preço” a ser pago por não conhecermos a média populacional. Analogamente, se a média é desconhecida, nada garante que a Krigagem Simples produzirá um estimador com estimativas para as variâncias verdadeiras e menores que a “Krigagem Ordinária que supõe a média desconhecida”.

Na prática é muito difícil ou quase impossível sabermos qual a verdadeira média do processo espacial. Usualmente fazemos uso das propriedades ergódicas do processo para realizar inferências. No entanto, se pudéssemos replicar as amostras sobre as mesmas locações aumentando o tamanho da amostra que em geral é um (1) poderíamos estar entendendo melhor sobre o momento de primeira ordem.

A forma geral das equações de krigagem ordinária é,

$$\begin{aligned} \omega_1\gamma(s_1, s_1) + \omega_2\gamma(s_1, s_2) + \dots + \omega_m\gamma(s_1, s_m) + \lambda &= \gamma(s_1, T) \\ \omega_1\gamma(s_2, s_1) + \omega_2\gamma(s_2, s_2) + \dots + \omega_m\gamma(s_2, s_m) + \lambda &= \gamma(s_2, T) \\ \omega_1\gamma(s_3, s_1) + \omega_2\gamma(s_3, s_2) + \dots + \omega_m\gamma(s_3, s_m) + \lambda &= \gamma(s_3, T) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots &= \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \omega_1\gamma(s_m, s_1) + \omega_2\gamma(s_m, s_2) + \dots + \omega_m\gamma(s_m, s_m) + \lambda &= \gamma(s_m, T) \end{aligned}$$

$$\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_m = 1$$

No lado esquerdo da expressão trabalhamos com todos as distâncias entre todos os possíveis pares amostrais e no lado direito da expressão nós trabalhamos com a distância entre cada amostra e a localização não observada  $T$ , que pretendemos prever. Realizando

uma conexão entre a expressão acima e o nosso variograma teórico nós conseguimos obter os termos  $\gamma$ . Resolvendo as equações nós obtemos os pesos  $\{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$  e  $\lambda$ . Posteriormente usamos estes pesos para conseguir o “melhor estimado linear não viesado”, as vezes conhecido como estimador “BLUE”

Nós também podemos trabalhar com estimação da variância que pode ser usado para construir intervalo de confiança para os nossos valores preditos. A estimação da variância por Krigagem Ordinária pode ser expressa como,

$$\sigma_{ko}^2 = \omega_1\gamma(s_1, T) + \omega_2\gamma(s_2, T) + \dots + \omega_m\gamma(s_m, T) + \lambda - \gamma(T, T) \quad (2.3.11)$$

### 2.3.3 Predição Bayesiana

Denotamos que  $S$  o processo espacial subjacente,  $Z$  os dados, e  $\theta$  o conjunto de parâmetros que definem o modelo.  $[S/\theta]$  e  $[Z/S, \theta]$  são as duas distribuições condicionais especificadas no modelo. A distribuição preditiva para  $S$  é dada pela distribuição condicional  $[S/Z, \theta]$  que assume que  $\theta$  é conhecido e é obtida pela aplicação direta do teorema de Bayes. A distribuição preditiva Bayesiana é dada por  $[S/Z]$ . Para estimar esta distribuição é necessário especificar a marginal ou distribuição a priori para  $\theta$ . Aplicando novamente o teorema de Bayes, é possível especificar a distribuição condicional  $[\theta/Z]$  definida como a posteriori de  $\theta$ . Assim a distribuição preditiva Bayesiana tem a forma

$$[S/Z] = \int [S/Z, \theta][\theta/Z]d\theta \quad (2.3.12)$$

Logo, a distribuição preditiva Bayesiana é proporcional a distribuição preditiva para valores particulares de  $\theta$ , ponderada de acordo com a distribuição a posteriori de  $\theta$ .

Na prática, a implementação do mecanismo de inferência Bayesiana passa pela retirada de amostras aleatórias da distribuição preditiva definida em (2.3.12).

Na inferência Bayesiana, ambos a variável  $Z$  e o espaço de parâmetros  $\theta$  são considerados quantidades aleatórias com distribuição conjunta  $[Z, \theta] = [Z/\theta][\theta]$  (2.2.29). A expressão  $[Z/\theta]$  é a função de verossimilhança, neste caso interpretada com distribuição

condicional de  $Z$  dado  $\theta$ . A priori para  $\theta$  dada por  $[\theta]$  representa a incerteza sobre  $\theta$  antes dos dados serem observados. A distribuição condicional  $[\theta/Z]$  (2.2.30) é definida como a distribuição a posteriori para  $\theta$  e representa a incerteza residual a respeito de  $\theta$  após os dados serem observados. Usando o teorema de Bayes é nós temos que

$$p(\theta/Z) \propto p(\theta)p(Z/\theta) \quad (2.3.12)$$

A função densidade de probabilidade a posteriori para  $\theta$  em um modelo com um Processo Gaussiano subjacente e uma função dada pelo Logaritmo da verossimilhança tem a forma

$$p(\beta, \tau, \phi, k/z) \propto p(\beta, \tau, \sigma, \phi, k) |V|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(z - F\beta)'V^{-1}(z - F\beta)\right\} \quad (2.3.13)$$

onde o espaço de parâmetros para  $\theta$  é dado por  $(\beta, \tau, \sigma, \phi, k)$

A predição para  $Z_0 = S(s_0)$  em uma locação arbitrária  $s_0$  é baseada na distribuição a posteriori  $[Z_0/Z]$  dada por

$$[Z_0/Z] = \iiint [Z_0, \beta, \tau, \phi, k/Z] d\beta d\tau d\phi dk \quad (2.3.13)$$

Usualmente a distribuição preditiva não tem a forma padrão de uma distribuição de probabilidade conhecida. Assim a integral deve ser resolvida através de métodos numéricos. Uma alternativa é a aplicação do método de Monte Carlo para a solução da integral.

## 2.4 ANOVA – Medidas Repetidas

O modelo estatístico adotado permitiu testar hipóteses sobre possíveis mudanças com respeito às variáveis químicas e biológicas. A Análise de Variância (ANOVA) com Medidas Repetidas utilizou métodos baseados em modelos mistos com estruturas paramétricas especiais nas matrizes de covariâncias. O conjunto de análises dos dados avaliou o comportamento dos dois grupos de unidades amostrais, localizadas na região de

impacto e na região de referência através das variáveis respostas observadas ao longo do tempo.

Os objetivos da análise podem ser resumidos em três pontos:

- i) Comparação dos diferentes grupos (Região de Impacto e de Controle (REF)) quanto ao padrão de variação das respostas ao longo do tempo (MD1, MD2 e MD3), isto é, a verificação da existência de interação entre o fator que define os dois grupos, Impacto e Controle e o fator que define os três momentos observados no tempo (MD1, MD2 e MD3).
- ii) Comparação dos diferentes grupos (Controle e Impacto) quanto as suas distribuições médias em relação aos diferentes tempos observados, verificando a existência de efeito do fator que define os grupos (componente Espacial).
- iii) Comparação dos diferentes Tempos (MD1, MD2 e MD3) quanto as suas distribuições médias em relação aos diferentes grupos, verificando a existência de efeito do fator que define os tempos (componente Temporal).

Foi utilizado para alcançar os objetivos das análises descritas nos itens i) a iii) o modelo de ANOVA (Análise de Variância) para medidas repetidas utilizando modelos mistos, o qual tem a forma a seguir especificada. (PROC MIXED, Sas Institute Inc. 1999-2001):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{j(i)} + \beta_k + \alpha\beta_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

onde,

$$i = 1, 2 \quad j = 1, 5, 4 \quad k = 1, 3$$

$\mu$  é a média final

$\alpha_i$  é o efeito Espacial

$\beta_k$  é o efeito Temporal

$\delta_{j(i)}$  é o erro para o teste do efeito Espacial, representando a variação

de repetições (estações) dentro dos níveis do efeito Espacial

$\alpha\beta_{ik}$  é o efeito da interação efeito Espacial x efeito Temporal

$\varepsilon_{ijk}$  é o erro aleatório não-observável associado a observação

A técnica de Análise de Variância (ANOVA) apresenta como resultado final, o nível descritivo amostral para cada um dos efeitos propostos pelo modelo. Utilizamos o nível de significância  $\alpha=0,05$ . O efeito dado por  $\alpha\beta_{ik}$  avalia a existência de interação entre os fatores, descrito anteriormente no item (i). O efeito dado por  $\alpha_i$  avalia a componente espacial descrito pelo item (ii). Já o efeito identificado por  $\beta_k$  avalia a presença ou não da componente temporal definida no item (iii). Quando há rejeição da hipótese nula sobre o efeito  $\alpha\beta_{ik}$ , os efeitos  $\alpha_i$  e  $\beta_k$  não foram avaliados individualmente, independentemente do nível descritivo amostral observado. Isto é, na presença da interação, nosso interesse recai sobre as diferenças observadas entre os níveis de um determinado fator mantendo fixo os níveis do outro fator avaliado. Neste caso as diferenças observadas dependem simultaneamente dos dois fatores avaliados.

Há uma interação entre dois fatores se o efeito de um dos fatores modifica-se conforme a categoria do outro fator.

O delineamento amostral e o Modelo BACI original, descritos precedentemente, foram definidos como já mencionado, sob a hipótese de que não haveria direção predominante para a deposição dos elementos provenientes da atividade de perfuração. Esta hipótese é decorrente da incerteza probabilística associada às características do estudo, desenvolvido em lâmina d'água de 900 metros. Posteriormente à perfuração do poço, constatou-se que na área compreendida pelo raio de 500 metros, definida como Região de Impacto, um grupo de estações amostrais, apresentavam evidências da atividade de perfuração exploratória, enquanto que um segundo grupo não apresentava estas evidências. Além disto, a distribuição espacial destas estações, a partir do centro da área de estudo, não se dava igualmente para todas as direções.

Uma abordagem complementar ao BACI original foi desenvolvida, com o objetivo de avaliar os impactos sobre as comunidades bentônicas somente na região definida pelas estações que apresentavam registros da atividade de perfuração. Houve duas definições da estratégia de análise dos dados para a definição da área alterada: inicialmente, a partir de

critérios subjetivos considerados como indicadores foi definida como Máscara, uma área espacial a qual incluía os pontos das estações amostrais com algum sinal de pelo menos um dos indicadores da atividade de perfuração. Nesta etapa das análises, foram empregadas técnicas Geoestatísticas utilizando a inferência Clássica para estimar parâmetros e prever valores para os locais não observados. Posteriormente, foram empregadas técnicas de Geoestatística Bayesiana com o intuito de definir a região modificada pelos indicadores da atividade de perfuração. Os resultados das diferentes estratégias de análises foram empregados para exemplificar a análise de efeitos espaciais e temporais observados sobre as comunidades bentônicas.

### 3. MAPEAMENTO DA ÁREA COM REGISTROS DA ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO

A atividade de perfuração exploratória realizada na área estudada foi dividida em três fases, de acordo com os fluidos utilizados. A primeira fase caracteriza-se pelo uso de água no processo, conhecida também como fase sem retorno. Na segunda fase foi utilizado o fluido base água (WBF), composto principalmente por água misturada com argila de betonita e aditivos tais como sulfato de bário. Na terceira fase de perfuração foi utilizado fluido de base não-aquosa (NAF) enquadrada no grupo III de conteúdo aromático baixo a negligível.

Independentemente das fases, observou-se que algumas variáveis teoricamente ligadas à atividade de perfuração apresentavam mudanças após a perfuração. Através do uso de técnicas de análises estatísticas concluiu-se que as alterações provocadas pela atividade de perfuração não aconteciam igualmente para todas as direções. Esta constatação obrigou a implementação de uma estratégia para isolar as estações amostrais, que apresentavam registro da atividade de perfuração, das demais estações próximas ao poço exploratório.

Para isto, foram identificados os indicadores da atividade de perfuração. As variáveis associadas às atividades de perfuração que serviram de indicadores da região impactada são:

- *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)*
- Fração Linear de C14 a C20 + a fração não resolvida UCM de C14 a C20.
- Bário (Ba)
- Percentagem de cascalho na superfície do Box Core (*Cuttings*)
- Modelagem do descarte de cascalhos e fluido.

A percentagem de cascalho na superfície do Box core (obtido por registro fotográfico) bem como a modelagem podem ser consideradas como atributos qualitativos, a pesar de ambos ter sido quantificados. Simultaneamente, a simulação não pode ser classificada como fenômeno observado.

Foram definidos pontos de corte para estas variáveis indicadoras, a partir dos valores observados no segundo cruzeiro (MD2), utilizando como critério a relação entre o



*background* da região, o qual foi estudado através dos dados do primeiro cruzeiro (MD1), realizado antes da perfuração e os dados do segundo cruzeiro (MD2), realizado um mês após a perfuração do poço. Estes dois grupos distintos, juntamente com o grupo formado pelas estações de referência (REF), podem então ser comparados ao longo do tempo.

Análises Geoestatísticas aplicadas em algumas das variáveis indicadoras comprovaram que a deposição sobre o compartimento sedimentar não foi uniformemente direcional. A distribuição espacial, tanto antes da perfuração (MD1) como três meses após a perfuração (MD2), mostra bem este comportamento.

As variáveis TPH e fração C14 a C20 dos lineares mais UCM C14 a C20 definem claramente a região de deposição dos elementos provenientes da atividade de perfuração durante a fase que utilizou o fluido de base não-aquosa (NAF). A composição do fluido foi analisada qualitativamente em sua composição química. Foi constatada a contribuição de hidrocarbonetos alifáticos lineares C14 a C20 sobre o total dos hidrocarbonetos de petróleo encontrados.

As estações amostrais número 21 e número 25 foram escolhidas para exemplificar o aporte da fração de hidrocarbonetos alifáticos lineares no MD2 entre um conjunto de estações amostrais que também apresentam características similares. Não há razões especiais para esta escolha, podendo ter sido utilizadas outras estações como exemplo. A Figura 3.3 mostra a distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares C14 a C35 na estação 25 no primeiro cruzeiro (MD1). A Figura 3.4 mostra a distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares C14 a C35 na estação 25 no segundo cruzeiro (MD2). A média dos hidrocarbonetos na estação 25 no primeiro cruzeiro (MD1), mostrados na Figura 3.3, é igual a 0,048 ppm. No segundo cruzeiro (MD2), a estação 25 (Fig. 3.4) apresentou a média igual a 0,422 ppm. A Figura 3.4 destaca que o crescimento das concentrações de hidrocarbonetos alifáticos lineares aconteceu no intervalo C14 a C20. A média dos hidrocarbonetos C14 a C20 no primeiro cruzeiro é aproximadamente 0,024 ppm. No segundo cruzeiro a média aumenta para 1.225 ppm mostrando a contribuição do fluidos não aquosos (NAF) na estação amostral número 25 no MD2. Já a média dos hidrocarbonetos C21 a C35 no MD1 é aproximadamente 0,059 ppm e no MD2 é 0,047 ppm. Assim, a parcela de hidrocarbonetos dada pelo intervalo C21 a C35 não apresentou crescimento em relação aos valores observados no primeiro cruzeiro (MD1) (Tabela 3.1).

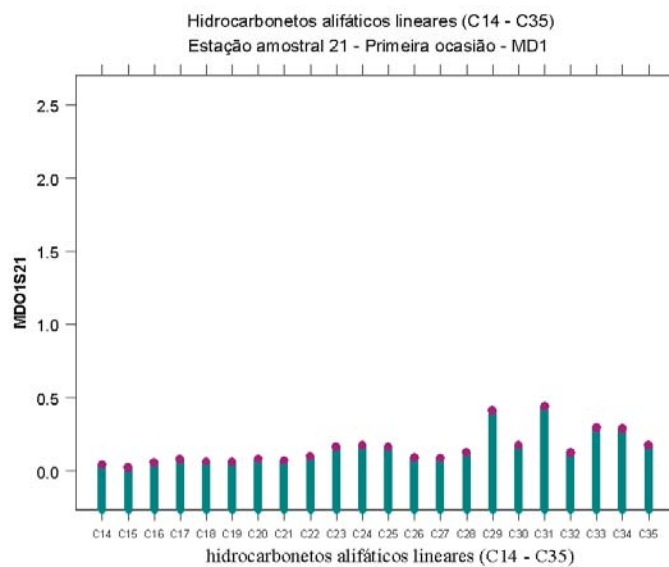


Figura 3.1. Distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares (C14-C35).  
Estação amostral número 21 no primeiro cruzeiro (MD1).

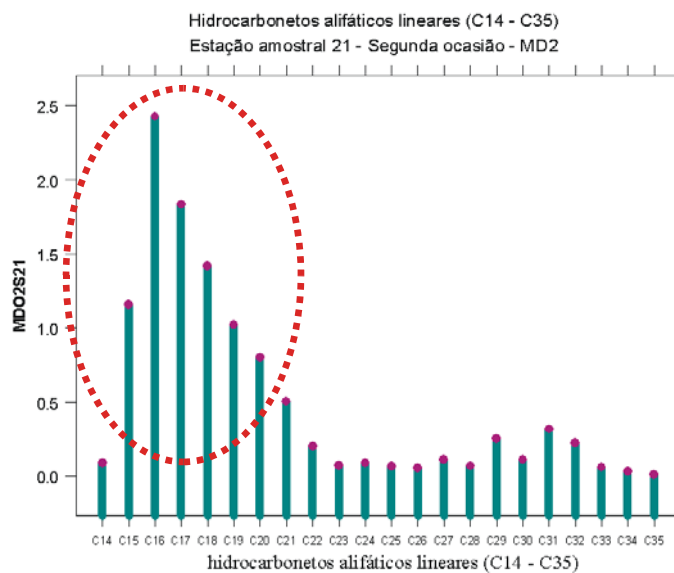


Figura 3.2. Distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares (C14-C35).  
Estação amostral número 21 no segundo cruzeiro (MD2).

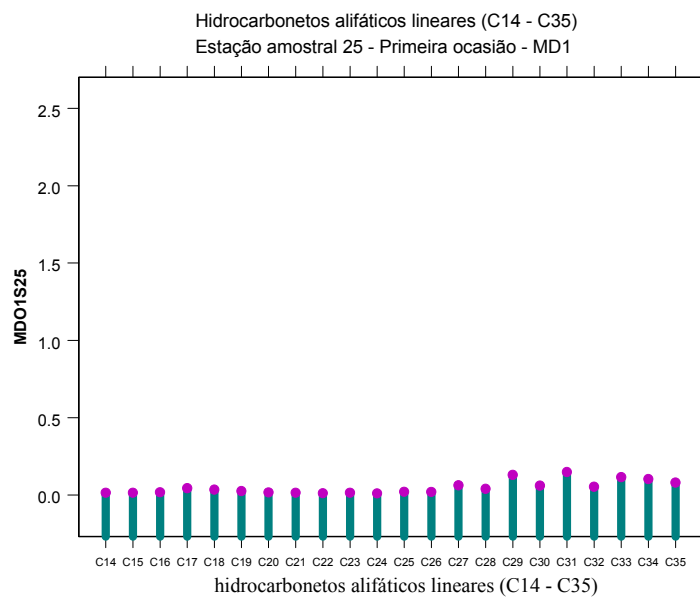


Figura 3.3. Distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares (C14-C35).  
Estação amostral número 25 no primeiro cruzeiro (MD1).

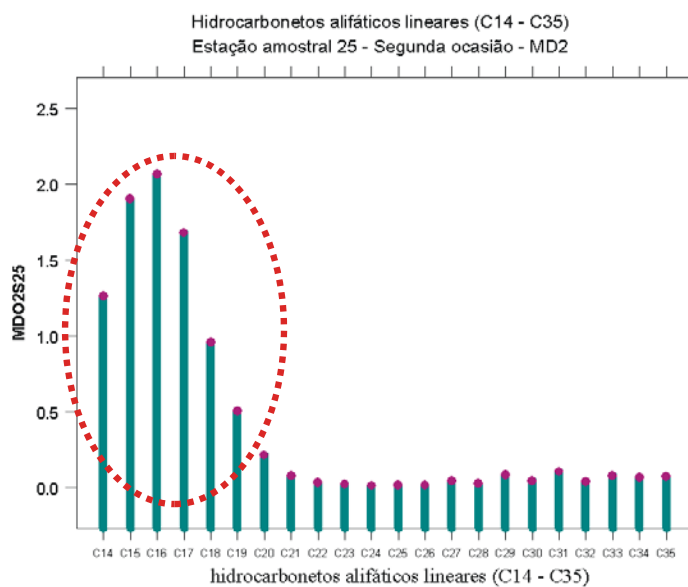


Figura 3.4. Distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares (C14-C35).  
Estação amostral número 25 no segundo cruzeiro (MD2).

Tabela 3.1. Média dos grupos de hidrocarbonetos alifáticos lineares na estação amostral 25.

	C14 a C20	C14 a C20	C21 a C35	C21 a C35
	MD1	MD2	MD1	MD2
Min.	0,014177	0,213513	0,009667	0,011369
Media	0,023574	1,224844	0,058787	0,047282
Max.	0,043660	2,062359	0,148896	0,104421

As figuras 3.5 a 3.11 foram produzidas através das técnicas Geoestatísticas descritas no Capítulo 2.2. Algumas suposições intrínsecas aos modelos Geoestatísticos não puderam ser plenamente satisfeitas. Como exemplo cita-se a suposição sobre estacionariedade do processo estocástico subjacente ao modelo (Cap. 2.2.2.1). No MD1 (primeira operação de amostragem, Figuras 3.5, 3.7 e 3.9) a suposição sobre estacionariedade do processo estava intrinsecamente satisfeita. No entanto, as Figuras 3.6, 3.8, 3.10 e 3.11, claramente apresentam uma alteração da média do processo, indicada pelas tonalidades mais escuras nas escalas de cores verdes. Apesar desta quebra de suposição as superfícies foram produzidas para auxiliar o entendimento da distribuição espacial dos elementos em estudo. O estimador Robusto (equação 2.2.7) foi utilizado para definir o semi-variograma. O método de estimação dos parâmetros seguiu a técnica de Mínimos Quadrados Ponderados (WLS) (Cap. 2.2.5.6)

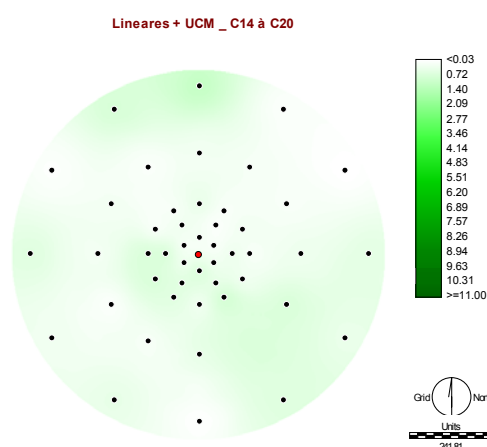


Figura 3.5 – Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 antes da perfuração (MD1).

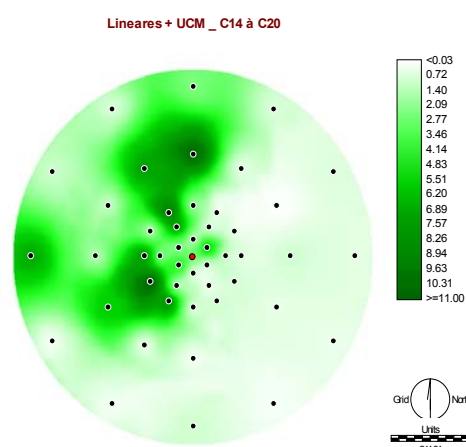


Figura 3.6 – Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 três meses após a perfuração (MD2).

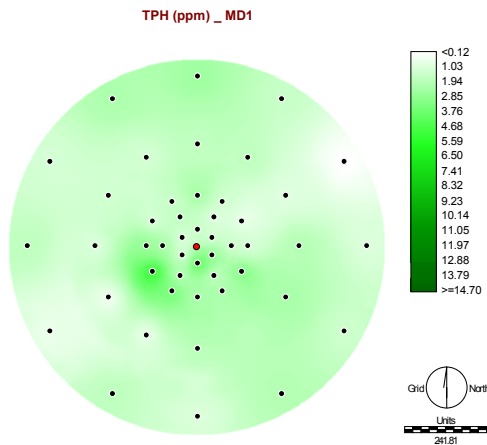


Figura 3.7 – Distribuição espacial do TPH antes da perfuração (MD1).

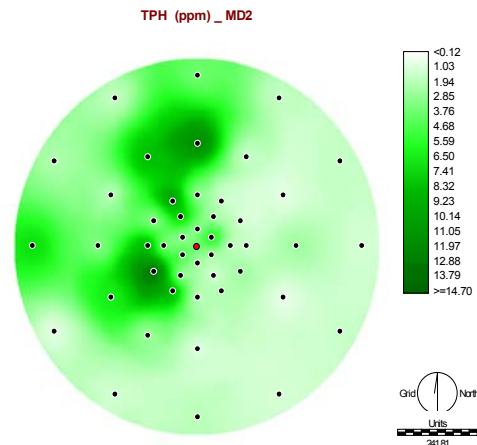


Figura 3.8 – Distribuição espacial do TPH três (3) meses após a perfuração (MD2).

A variável Bário (Ba) pode ser relacionada às duas fases de perfuração. Os registros de Bário no sedimento marinho podem estar simultaneamente associados à fase de perfuração que utilizou o fluido base água (WBF) e à fase com fluido não-aquoso (NAF).

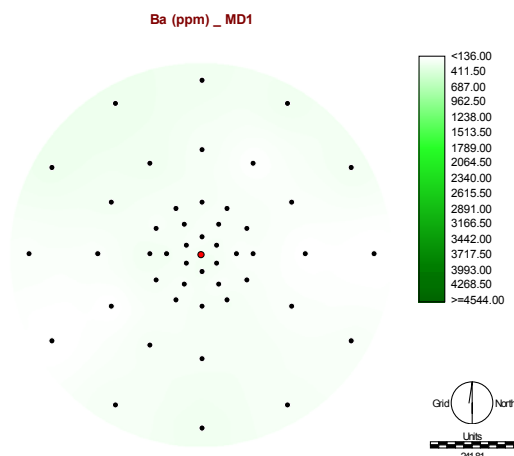


Figura 3.9 – Distribuição espacial do Ba (ppm) antes da perfuração (MD1).

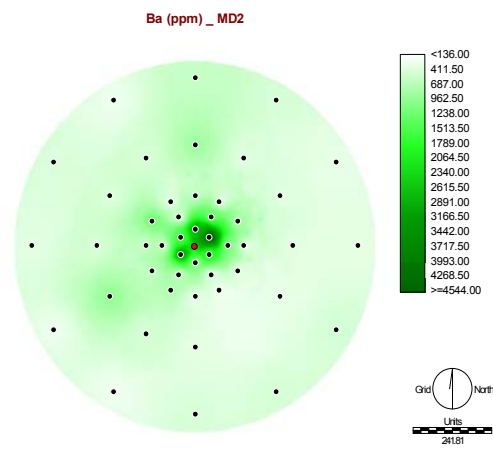


Figura 3.10 – Distribuição espacial do Ba (ppm) três (3) meses após a perfuração (MD2).

O maior incremento na concentração de Bário foi observado na estação amostral número 2 no MD2. O valor observado no primeiro cruzeiro (MD1) foi 226 ppm para um valor de 4545 ppm no segundo cruzeiro (MD2). Além da estação amostral número 2, outras estações apresentaram concentrações superiores a 1000 ppm após a atividade de perfuração. Estas estações amostrais são identificadas pelos números 1,3,5,6,7,8 e 23.

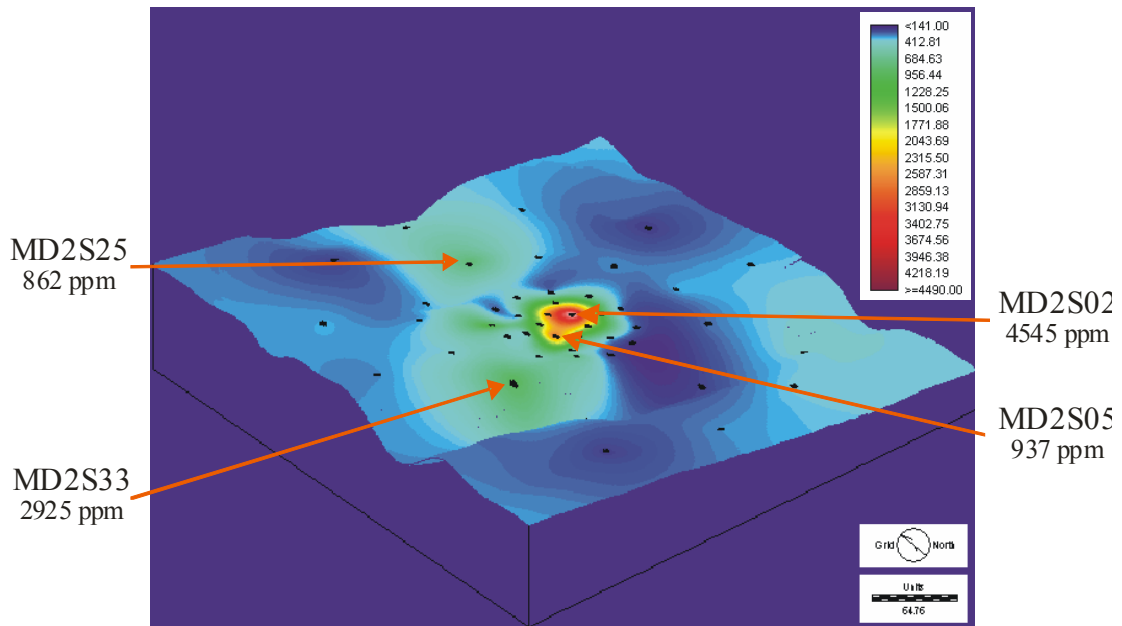


Figura 3.11 – Distribuição espacial do Ba (ppm) sobre a morfologia de fundo, três (3) meses após a perfuração (MD2).

Através das fotos do *Boxcore*, realizadas no momento da extração das amostras, estimou-se o percentual de cobertura da área do *Boxcore* por cascalho de perfuração (*cuttings*). Desta forma foi possível recuperar a informação sobre a incidência destes elementos indicadores da atividade de perfuração no sedimento marinho.

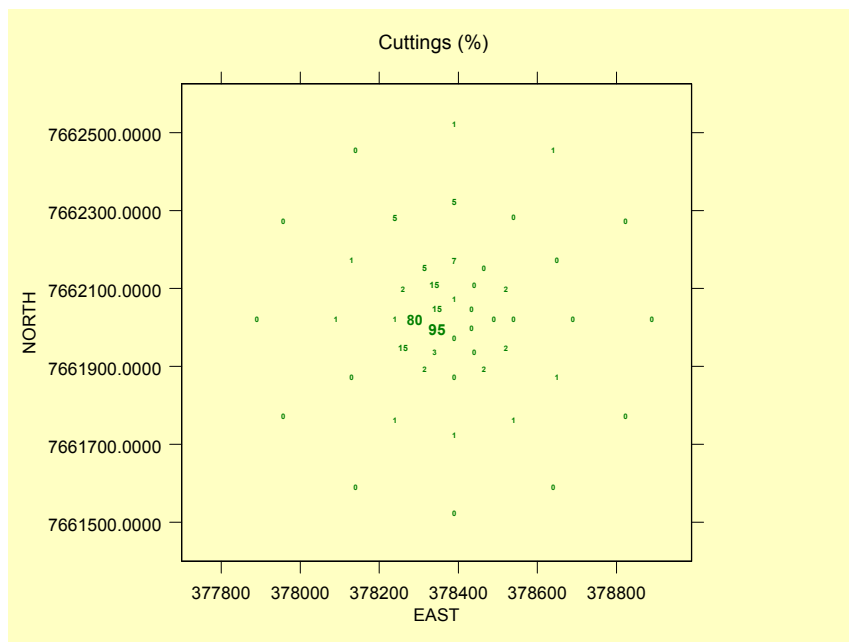


Figura 3.12 – Percentual de cobertura por cascalho (*cuttings*) na superfície do compartimento sedimentar um (1) mês após a perfuração (MD2).

Os *cuttings* de perfuração são gerados ao longo do processo de perfuração. Eles constituem uma parcela da descarga produzida ao longo do processo. De acordo com a fase de perfuração, são gerados dois grupos distintos de *cuttings*. Um grupo está associado à utilização de fluido base aquosa (WBF) e o outro grupo está associado ao uso de fluido base não-aquosa (NAF). Neste estudo os *cuttings* associados à fase com fluido aquoso foram disponibilizados no ambiente marinho sem retorno para a plataforma. Os *cuttings* associados à fase NAF foram disponibilizados no ambiente marinho após o processo de separação de sólidos do fluido de perfuração. Diferentemente dos *cutting* associados ao fluido não-aquosos, os *cutting* associados aos fluidos base-água tendem a se desagregar mais facilmente. Além disto os cascalhos de perfuração formados a partir da perfuração com fluido base água (WBF), tendem a se dispersar com mais facilidade (Mairs, H., Smith, J., Melton, R., Pasmore, J and Maruca, S. (2000)).

Foram incorporados originalmente, dados quantitativos e da distribuição espacial elaborada através da modelagem da descarga (não observados em campo) realizada pelo grupo da Informática no âmbito do Projeto MAPEM (Fig. 3.13.). Esta simulação, foi obtida

pelo grupo citado, aplicando o Modelo de Descarga de Lama e Água Produzida (*Mud and Produced Water Discharge*) do *Offshore Operators Committee*, mais conhecido como Modelo OOC (Brandsma & Smith, 1999).

POÇO EAGLE - ESPESSURA TOTAL DO MATERIAL DESCARREGADO

(Cascalhos com água, cascalhos com NAF e WBM)

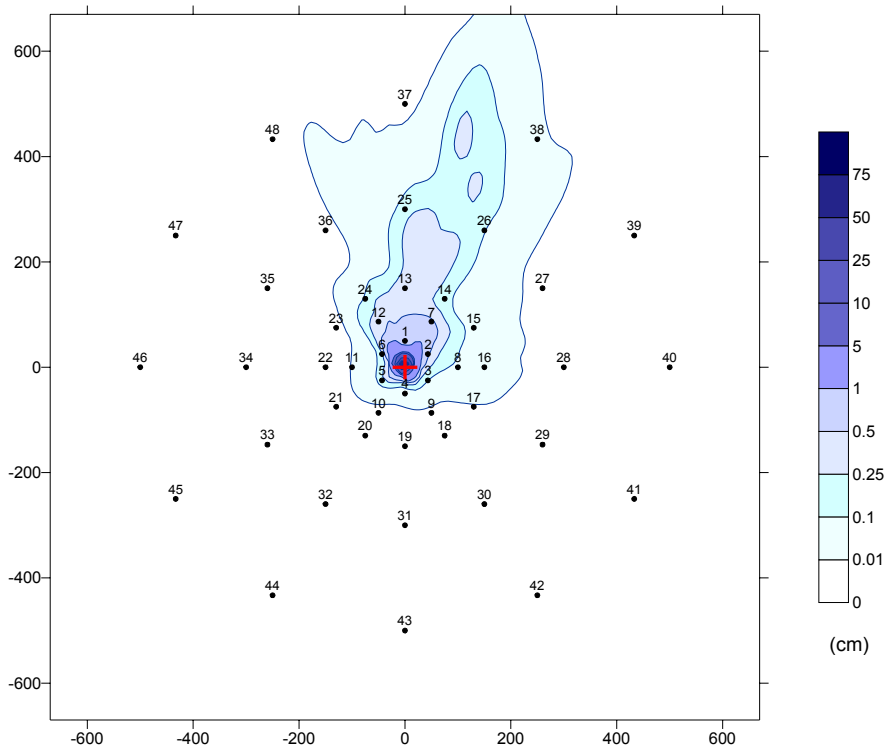


Figura 3.13 – Simulação da espessura total do material descarregado de acordo com os resultados apresentados pelo grupo de Informática do Projeto MAPEM.

Cada variável teve seu ponto de corte definido a partir da observação e ou medidas obtidas do local antes da perfuração e três meses após a perfuração. As estações amostrais, observadas no segundo cruzeiro (MD2) que apresentaram valores maiores ou iguais aos pontos de corte para alguma variável indicadora foram incluídas na área de impacto da atividade de perfuração. Os pontos de corte de cada variável estão descritos na tabela 3.2.



As figuras 3.14 a 3.23, descrevem a intensidade das variáveis observadas no espaço e o número da estação amostral correspondente.

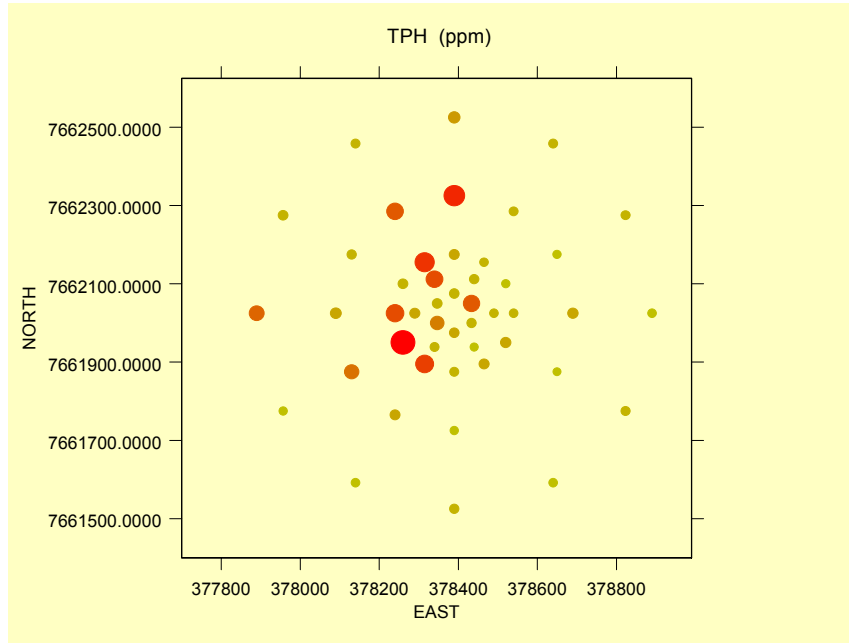


Figura 3.14 – Intensidade dos valores observados para o TPH no MD2.

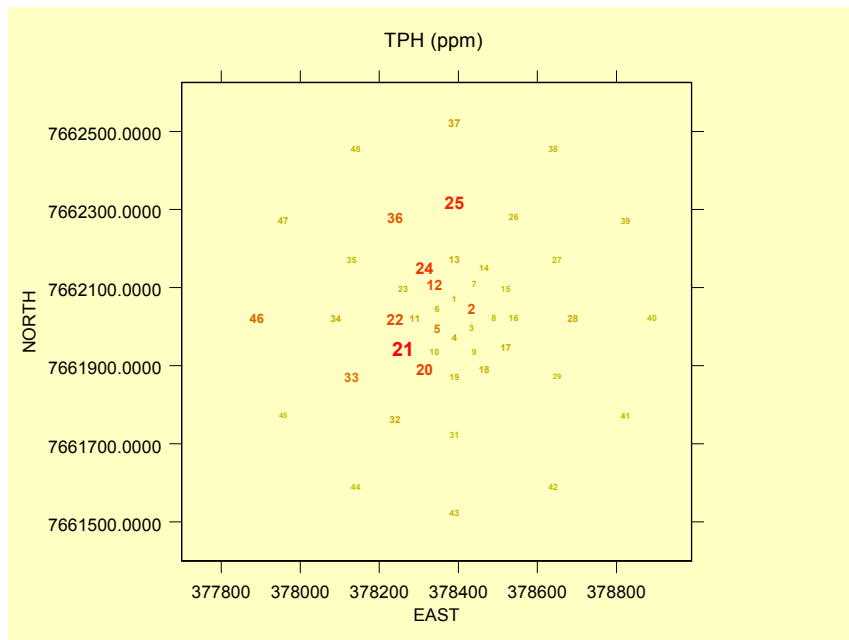


Figura 3.15 – Intensidade das estações observadas para o TPH no MD2.

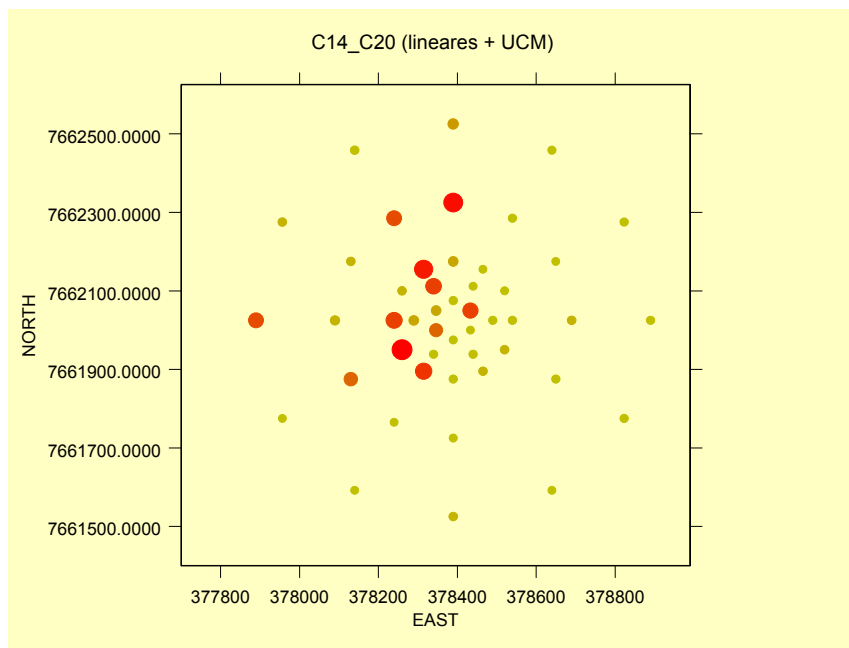


Figura 3.16 – Intensidade dos valores observados para as frações lineares + UCM C14 à C20 no MD2.

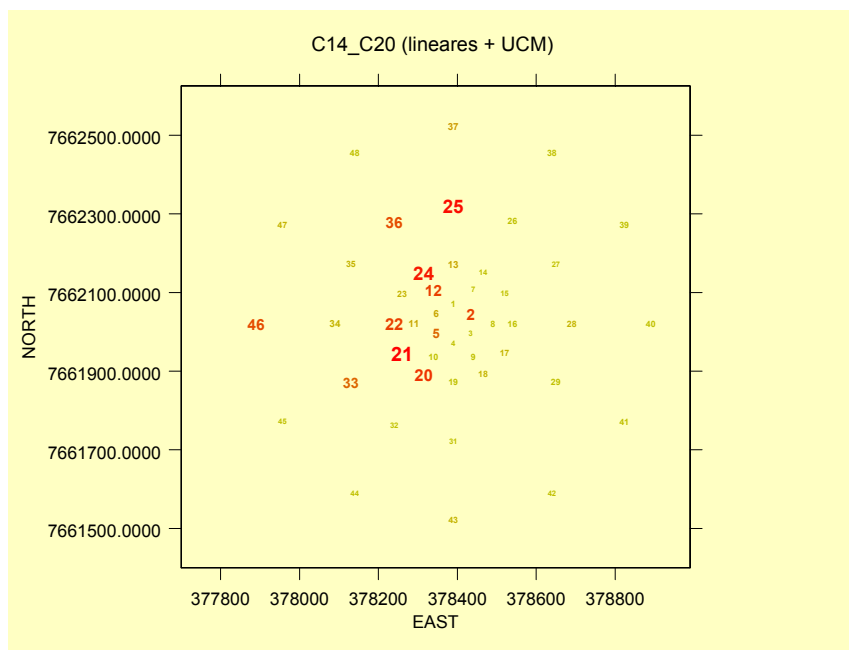


Figura 3.17 – Intensidade das estações observadas para as frações lineares + UCM C14 à C20 no MD2.

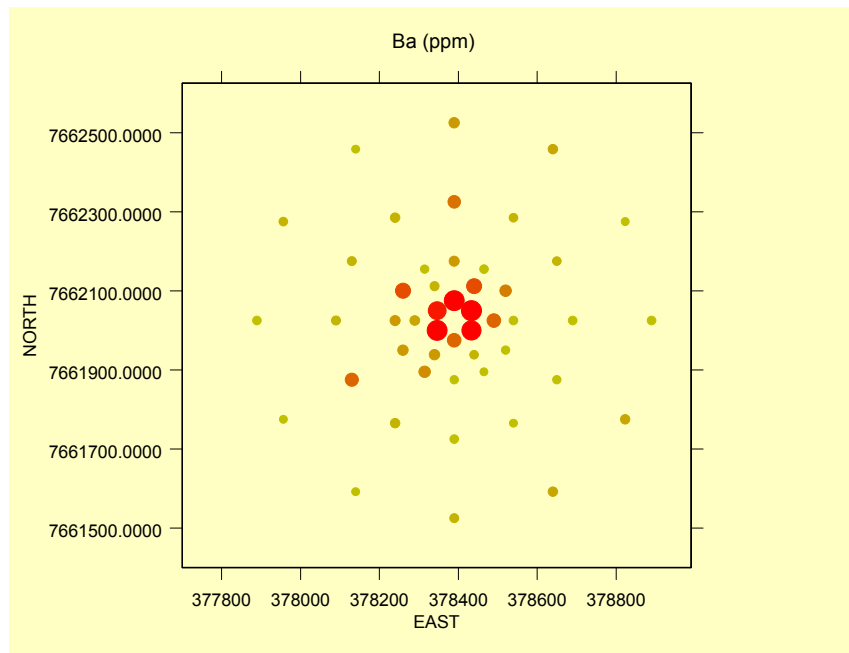


Figura 3.18 – Intensidade dos valores observados para o Ba no MD2.

Obs: Intensidade suavizada na estação número 2

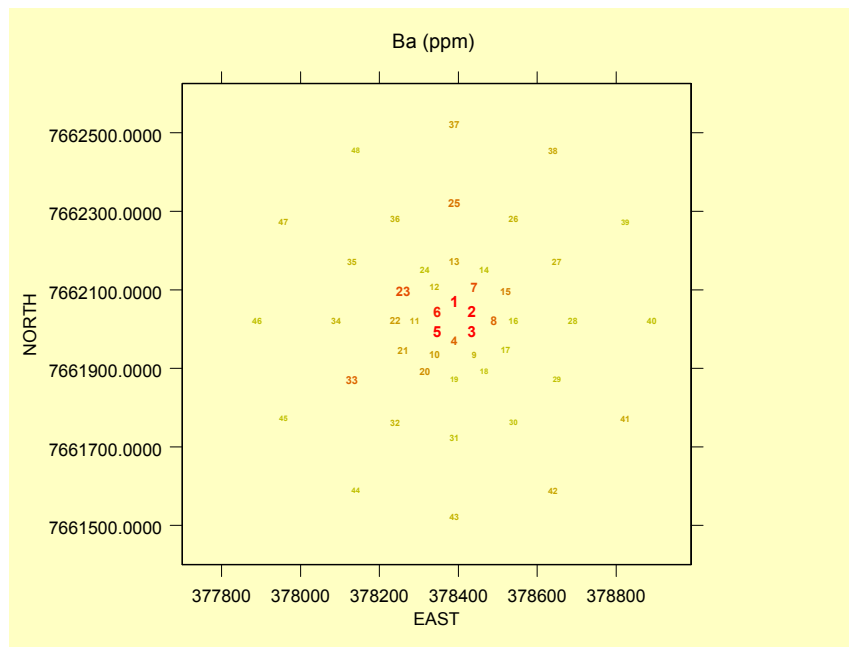


Figura 3.19 – Intensidade das estações observadas para o Ba no MD2.

Obs: Intensidade suavizada na estação número 2

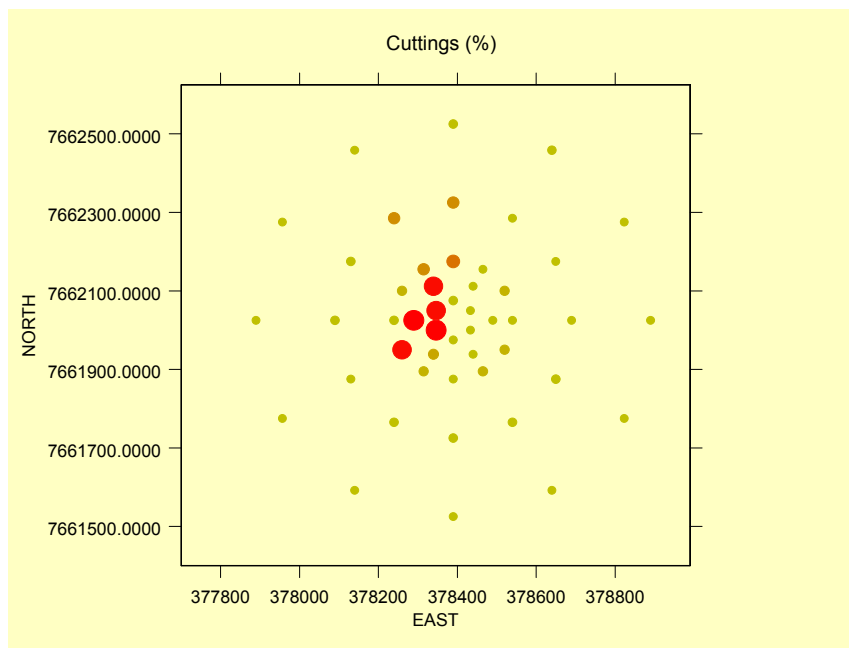


Figura 3.20 – Intensidade dos valores observados de “cuttings” no MD2.

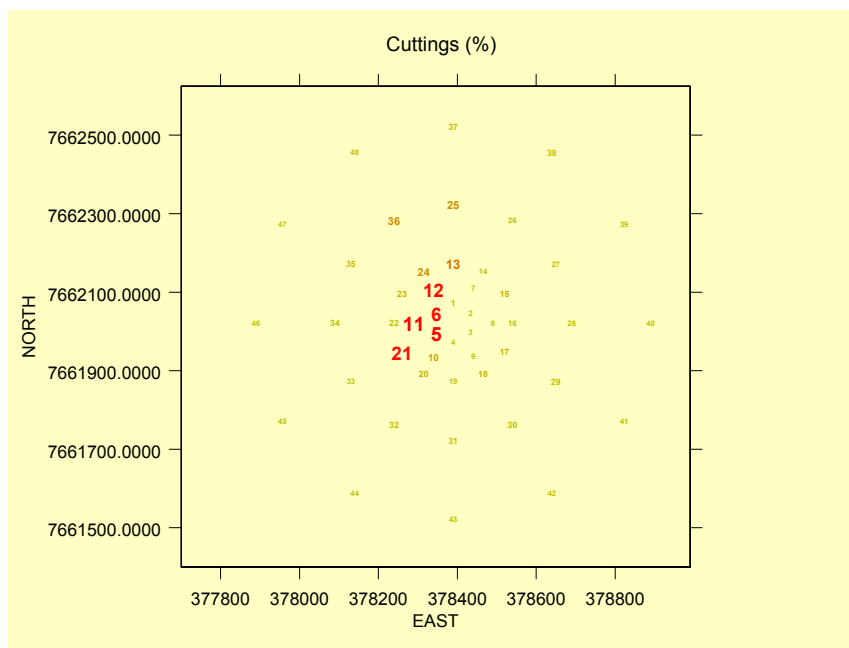


Figura 3.21 – Intensidade das estações observadas para “cuttings” no MD2.

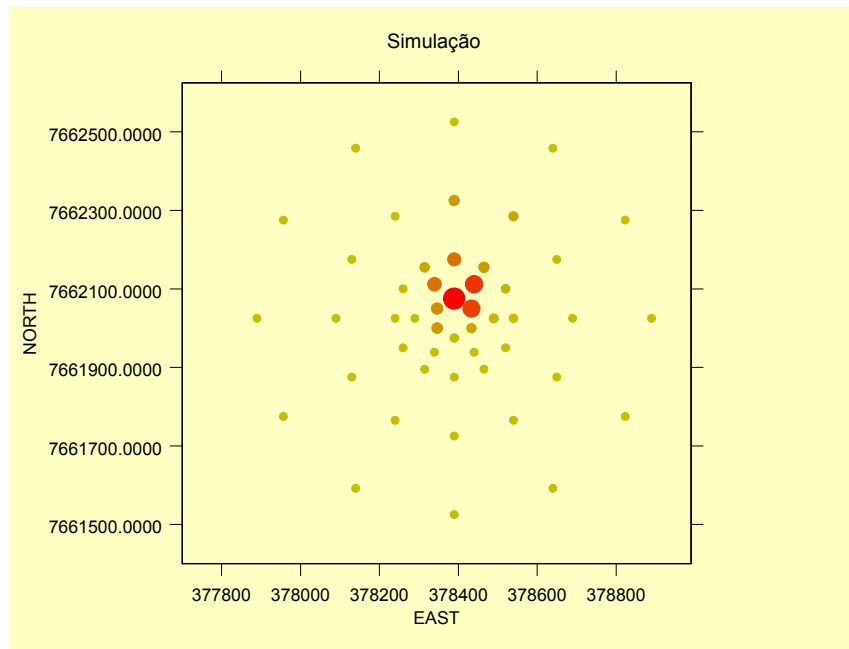


Figura 3.22 – Intensidade dos valores simulados.

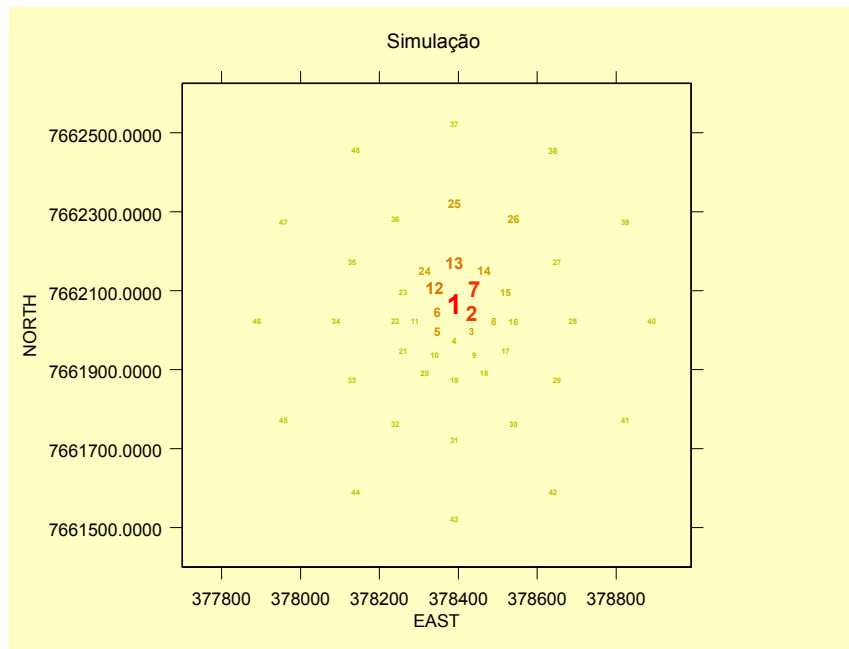


Figura 3.23 – Intensidade das estações simuladas.

### 3.1 Separando as regiões alteradas pelos indicadores da atividade de perfuração propostos.

Somente a variável “Simulação” não foi observada em campo. As demais variáveis foram observadas direta ou indiretamente como a análise visual de “*cuttings*”.

Tabela 3. 2 – Pontos de corte das variáveis indicadores da atividade de perfuração.

TPH	Média do Segundo Cruzeiro	$\bar{X} = 3,15 \text{ ppm}$
Fração Linear C14_C20	Média do Segundo Cruzeiro	$\bar{X} = 2,14 \text{ ppm}$
Ba	Média da Diferença entre Cruzeiros	$\bar{X}_D = 469,28 \text{ ppm}$
Cuttings	2% da área do “Box Core” coberta (Análise Visual)	$2\% \leq \text{Impacto}$
Simulação	Espessura estimada acima de 0.01cm	$0.01 \text{ cm} \leq \text{Impacto}$

O TPH e a fração de lineares mais UCM C14 a C20 tiveram o ponto de corte definido pela média observada no segundo cruzeiro (MD2), o qual ocorreu um mês após a perfuração. O valor médio para o TPH no segundo cruzeiro (MD2) foi 3,15 ppm e o valor médio no segundo cruzeiro, da fração linear mais UCM C14 a C20 foi de 2,14 ppm. O ponto de corte do Bário (Ba) foi definido pela média da diferença entre as observações realizadas antes da perfuração e as observações três (3) meses após a perfuração. A média da diferença observada da variável Ba foi 469,28 ppm. A análise visual dos cascalhos de perfuração (*cuttings*) no *boxcorer* classificou as estações pertencentes à região de impacto com valores percentuais iguais ou superiores a 2%. A simulação do depósito de material sólido classificou as estações amostrais com deposição igual ou superior a 0,01cm como pertencentes à região de impacto da perfuração.

Desta forma foi possível classificar as estações distantes no máximo 500 metros do centro do poço em dois grupos distintos: um grupo foi definido como “Região Alterada” (RA) e o outro grupo foi definido como “Região Não Alterada” (RNA). Das 48 estações amostrais localizadas dentro do círculo de 500 metros, vinte e nove (29) foram classificadas como pertencentes à área de impacto da atividade de perfuração definida como “Região Alterada” (RA). As dezenove (19) estações amostrais restantes, foram

classificadas no grupo definido com “Região Não Alterada” (RNA). Além das 48 estações, temos o terceiro grupo, totalizando seis estações, localizado a 2500 metros, definido como estações de “Referência” (REF). A contribuição em relação a cada indicador da atividade de perfuração na classificação das estações amostrais dentro do grupo RA, está descrita na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Definição das estações amostrais conforme a Região de Impacto. As áreas em azul definem as estações que tiveram o valor da variável respectiva selecionado conforme o critério de definição do Grupo RA.

Estação	TPH	C14_C20	Ba	Cutting	Simulação
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
33					
36					
37					
38					
46					

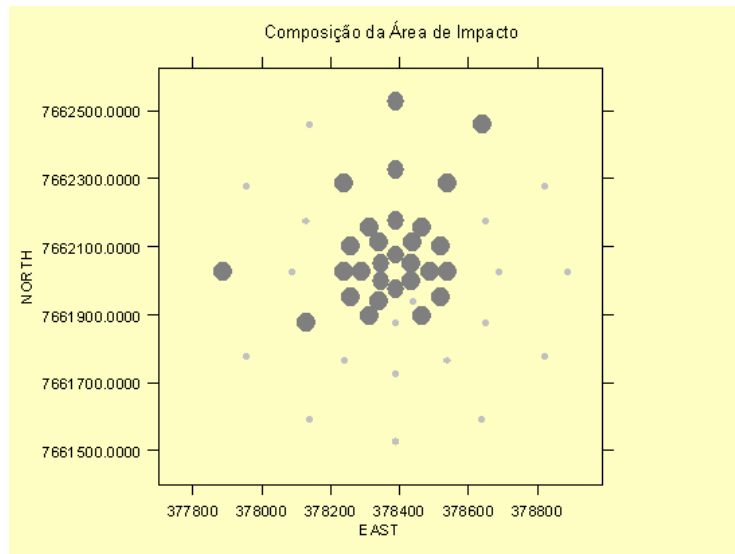


Figura 3.24 – Localização das estações amostrais discriminadas de acordo com os indicadores da atividade de perfuração.

A figura 3.25 descreve a região delimitada pelas estações classificadas de acordo com a Tabela 3.3

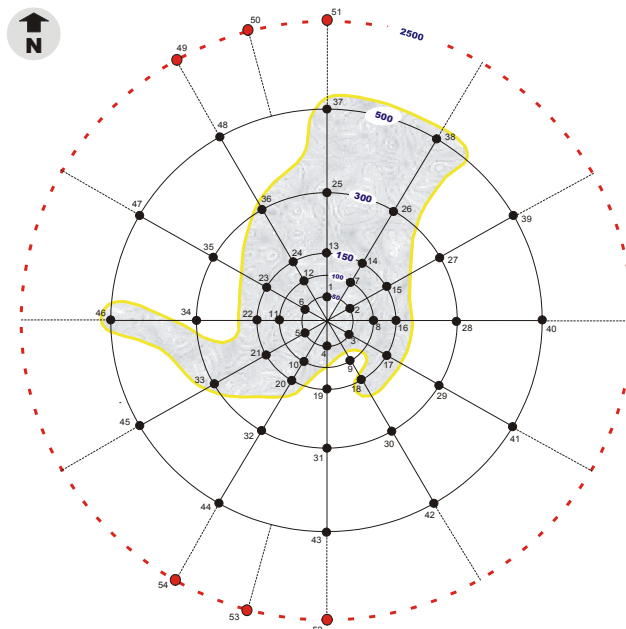


Figura 3.25 – Figura ilustrativa da área RA definida pelas estações amostrais classificadas de acordo com os indicadores da atividade de perfuração.



A Figura 3.24 descreve os dois grupos localizados a uma distância máxima de 500 metros do centro do poço. Os círculos maiores identificam as estações localizadas na região de impacto denominada “Região Alterada” (RA). As demais estações identificadas pelos símbolos menores pertencem ao grupo definido como “Região Não Alterada” (RNA).

A Figura 3.25 ilustra a “Região Alterada” (RA) caracterizada por registros da atividade de perfuração juntamente com regiões apontadas pelo modelo de simulação. As estações de referência localizadas ao Norte (N) e ao Sul (S) do poço situam-se a 2500 metros do centro da área de estudo. Os limites da região RA foram definidos por critérios subjetivos atendendo a restrição de que todas as estações classificadas no Grupo RA deveriam estar contidas na área delimitada pela linha amarela. Complementarmente todas as estações classificadas no Grupo RNA devem estar fora dos limites definidos pela linha amarela. A estratégia que envolve a simulação simultaneamente com as variáveis indicadoras da atividade antrópica, observadas em campo, pode ser útil na validação do modelo de simulação.

### **3.2 Separando os efeitos das fases de perfuração com fluido base água (WBF) e fluido base não aquosa (NAF).**

A terceira fase de perfuração é o alvo principal do estudo. As questões ligadas diretamente à presença de elementos constituintes de fluidos não aquosos (NAF) foram controladas através das demais fases de perfuração. Assim as respostas observadas sobre as comunidades bentônicas puderam ser observadas separadamente. Esta discriminação das fases foi feita com base na constituição química dos fluidos. Análises químicas (Peralba et al, 2003) mostraram que o fluido não-aquoso (NAF) tem na sua constituição a presença de hidrocarbonetos das frações lineares C14 a C20 mais a fração não resolvida UCM C14 a C20.

A composição inicial da Região Alterada (RA) indica uma área com registros da atividade de perfuração compreendendo todo o processo de perfuração. Uma descrição do processo permite observar que: primeiro houve a deposição de material particulado oriundo da fase de perfuração sem retorno utilizando somente água. Num segundo momento houve a deposição de material oriundo da fase de perfuração com fluido aquoso (WBF), também

sem retorno. Na terceira fase, esta com retorno à superfície (*riser*), depositou-se material no fundo marinho proveniente da fase de perfuração com a utilização de fluido não-aquoso (NAF). Esta seqüência temporal da atividade de perfuração desencadeou um ordenamento físico na deposição do material produzido durante a perfuração. Assim, os resíduos ou descarga da fase NAF encontram-se depositados sobre os registros das fases anteriores.

Desta forma uma nova estratégia foi desenvolvida para isolar os efeitos da fase base água e da fase base não-aquosa. Com exceção da simulação, foram mantidas as mesmas variáveis e pontos de corte propostos anteriormente (tabela 3.4). Decidiu-se não incluir neste critério os resultados da simulação e sim, apenas os resultados realmente observados no segundo cruzeiro (MD2), ou seja, na segunda operação de amostragem, um (1) meses após a perfuração do poço.

Tabela 3. 4 – Pontos de corte das variáveis indicadores da atividade de perfuração.

TPH	Média do Segundo Cruzeiro	$\bar{X} = 3.15 \text{ ppm}$
C14_C20	Média do Segundo Cruzeiro	$\bar{X} = 2.14 \text{ ppm}$
Ba	Média da Diferença entre Cruzeiros	$\bar{X}_D = 469.28 \text{ ppm}$
Cutting	2% da área do “Box Core” coberta (Análise Visual)	$2\% \leq \text{Impacto}$

O conjunto formado pelas estações localizadas na área de impacto foi dividido em dois (2) grupos distintos.

O primeiro grupo é caracterizado pela presença de Bário (Ba) e/ou cascalho de perfuração (*cuttings*) com valores iguais ou superiores aos pontos de corte propostos. Este grupo de estações delimita uma área de registros da atividade com fluido base água (WBF) e foi denominado grupo WBF.

O segundo Grupo é caracterizado pela presença de hidrocarbonetos lineares C14 a C20 mais a fração não resolvida UCM C14 a C20 juntamente com Bário e/ou cascalho de perfuração. Este grupo tem origem na contribuição das duas fases de perfuração onde

foram utilizados os fluídos aquoso e não-aquoso (WBF e NAF). Neste grupo, as estações amostrais número 12, 24, 36 e 46 apresentaram somente contribuição de hidrocarbonetos oriundos do fluido não aquoso (NAF), não tendo sido observado concentrações de Bário e de cascalho de perfuração acima do ponto de corte.

Tabela 3.5 – Contribuição para cada estação amostral dos indicadores das diferentes fases de perfuração. Áreas marcadas indicam que a estação amostral foi classificada na respectiva fase, de acordo com os valores observados no segundo cruzeiro (MD2).

Estação amostral	Fase WBF	Fase WBF +NAF
01	X	
02		X
03	X	
04	X	
05		X
06	X	
07	X	
08	X	
10	X	
11	X	
12		⊖
13	X	
15	X	
17	⊖	
18	⊖	
20		X
21		X
22		X
23	X	
24		⊖
25		X
33		X
36		⊖
37		X
46		⊖

A tabela 3.5 mostra as estações pertencentes à região de impacto, divididas em dois grupos distintos, de acordo com as fases de perfuração. Dentro dos grupos constataram-se estações com características particulares nos indicadores. As estações número 17 e 18

classificadas no grupo WBF apresentaram somente cascalho de perfuração, provavelmente associados à fase de perfuração com fluido base água. Nas estações 12, 24, 36 e 46 foram observados valores acima do ponto de corte somente para o THP e para a fração de hidrocarbonetos lineares C14 a C20 mais a fração não resolvida UCM C14 a C20. Estas quatro (4) estações marcam locais que apresentam somente registros da atividade com fluido não-aquoso (NAF). Esta característica permite detalhar a estrutura do grupo dominado pela sobreposição das fases de perfuração. (Figura 3.27).

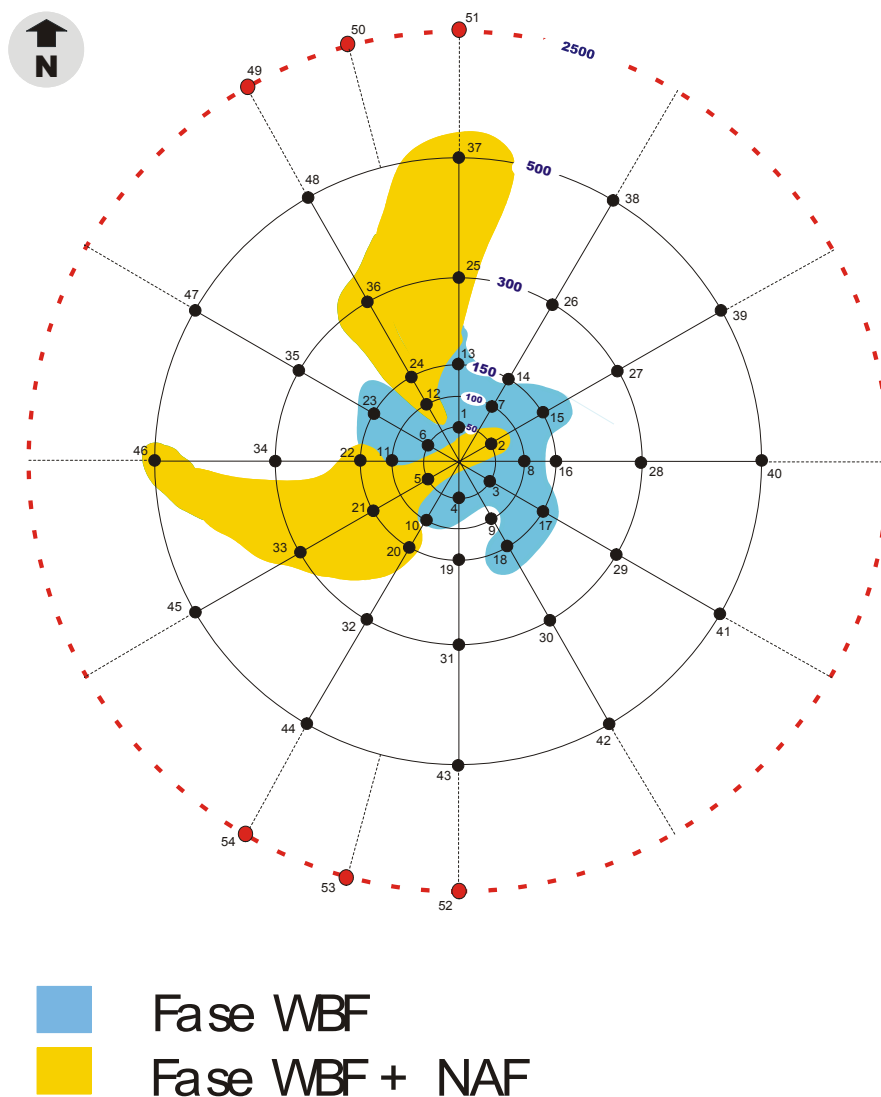


Figura 3.26 – Descrição das áreas com registros das fases WBF e WBF + NAF, que definem os grupos para a análise

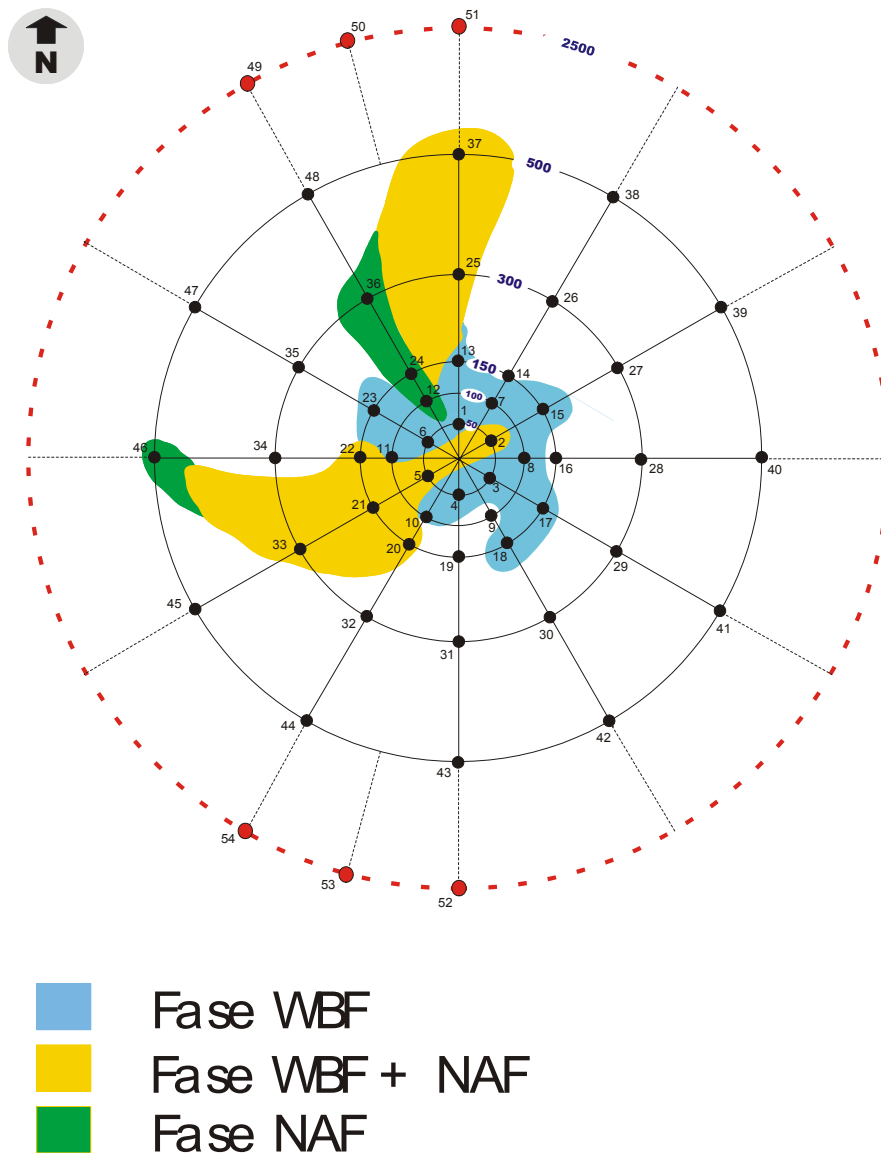
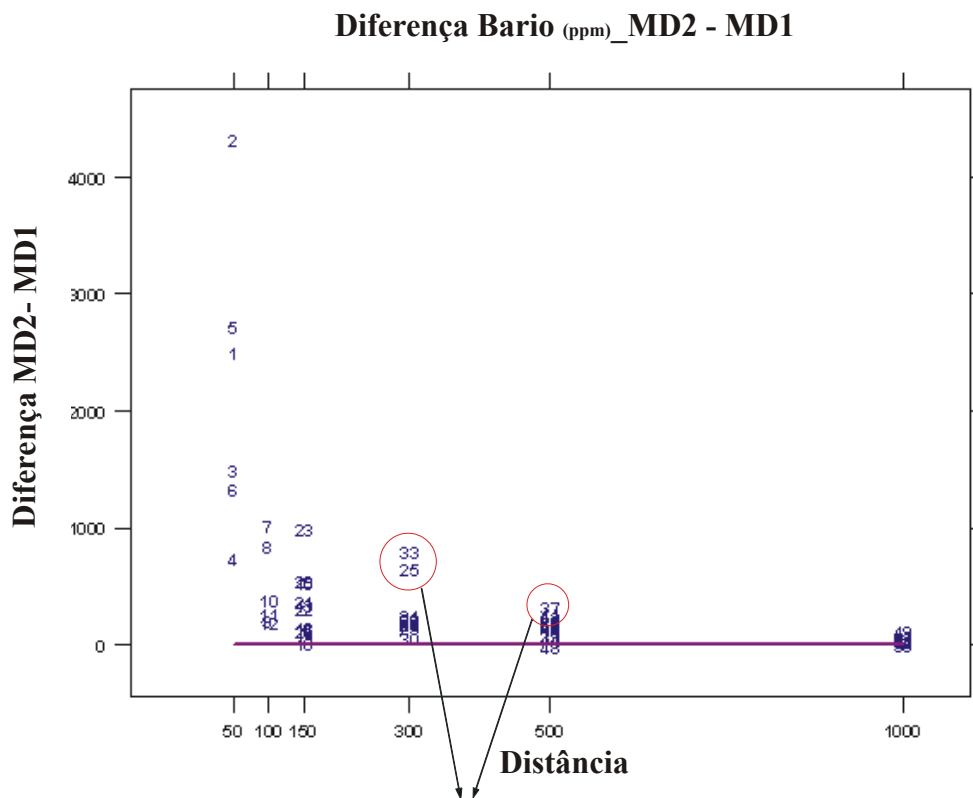


Figura 3.27 – Descrição das áreas com registros das fases WBF, WBF + NAF e somente NAF. O grupo somente NAF não foi separado na análise devido ao pequeno número observado de estações amostrais.

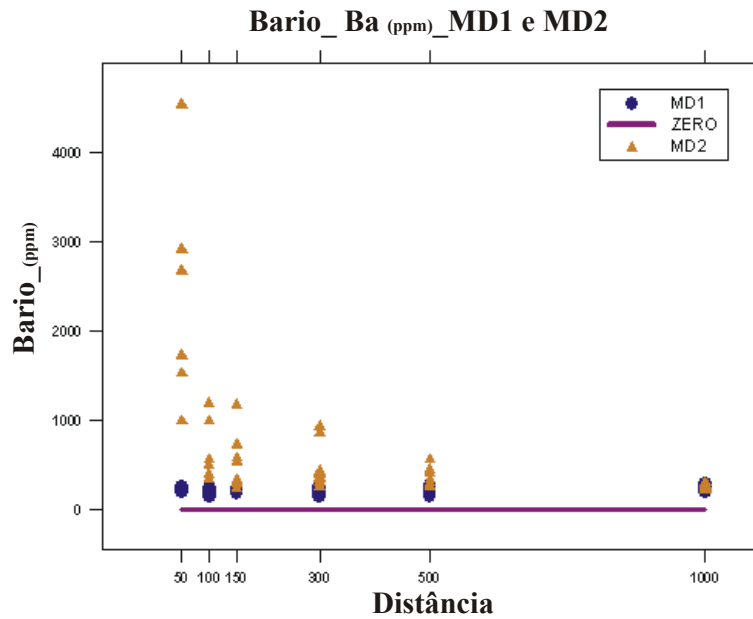
A distribuição espacial dos grupos descrita na Figura 3.26 mostra que os indicadores da atividade de perfuração com fluido aquoso tendem a se concentrar em torno do poço. Os indicadores da fase WBF sem a presença de NAF foram encontrados a uma distância máxima de 150 metros independente de direção.

A fase WBF + NAF apresenta dispersão para Sudoeste, Oeste e Norte. Na área definida pelos indicadores da fase WBF + NAF, os efeitos encontrados apresentam características aditivas na maioria das estações atingindo distâncias até 500. A estação amostral número 46 situada a 500 metros a Oeste do poço, apresenta somente registro da fase NAF. A Figura 3.28 mostra a diferença entre os valores observados da variável Ba (ppm) no primeiro cruzeiro, antes da perfuração (MD1), e os valores observados no segundo cruzeiro (MD2), três (3) meses após a atividade de perfuração. Com exceção das estações amostrais números 33 e 25, localizadas a 300 metros do poço e da estação amostral número 37, localizada a 500 metros ao norte do poço, todas as outras estações com contribuição de Bário (Ba) alocadas na área de impacto WBF + NAF, definida pelas duas fases, situam-se no máximo a 150 metros do centro da malha amostral.



Estações 25 e 33 localizadas a 300 metros do poço e  
estação 37 localizada a 500 metros do poço

Figura 3.28 – Diferença MD2 – MD1 para a variável Ba (ppm).



**A estabilidade do Bario (Ba) no primeiro cruzeiro (MD1) contrastando com o aumento das concentrações próximo ao poço, no segundo cruzeiro (MD2).**

Figura 3.29 – Dispersão do Ba (ppm) com a distância do poço nos Dois (2) cruzeiros, MD1 e MD2.

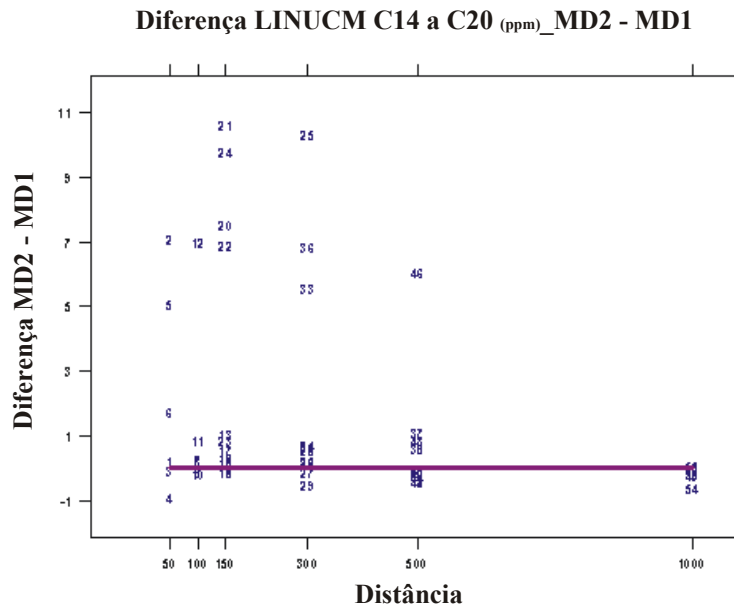


Figura 3.30 - Diferença MD2 – MD1 para a variável Lin+UCM C14 a C20 (ppm)

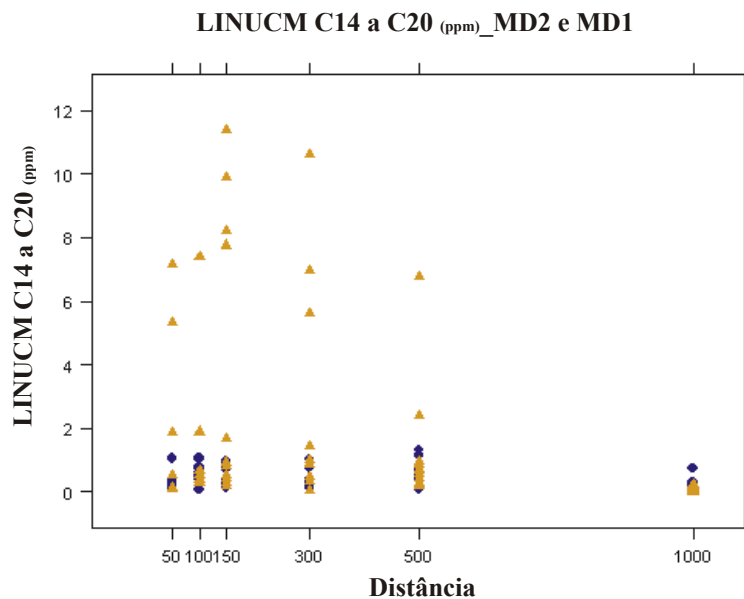


Figura 3.31 – Dispersão da variável Lin+UCM C14 a C20 (ppm) com a distância do poço nos dois cruzeiros, MD1 e MD2.

A variável Fração linear C14 a C20 mais a fração não resolvida UCM C14 a C20 (Lin+UCM C14 a C20) não apresenta comportamento similar ao Bário (Ba ppm). De acordo com a Figura 3.30, a deposição do material associado à fase de perfuração com fluido não aquoso aconteceu com maior dispersão espacial nas distâncias de 150 metros e de 300 metros nas direções Noroeste, Oeste e Norte. Dentro do grupo de estações que registram de forma aditiva a fase WBF e NAF localizadas a 150 metros e a 300 metros, somente nas estações 12, 24 e 36 é possível afirmar que as mudanças observadas após a perfuração do poço são decorrentes unicamente da fase de perfuração com fluidos não aquosos (NAF).

Esta alternativa de análise classificou as estações distantes no máximo a 500 metros do centro do poço em três grupos distintos. O primeiro grupo formado por treze (13) estações, foi definido como descrito anteriormente, “WBM” e é caracterizado por registrar somente o processo de perfuração com fluido base-água. O segundo grupo formado por doze (12) estações, foi definido como “WBF + NAF” e caracteriza-se por registrar as fases com fluido aquoso e não-aquoso simultaneamente. O terceiro grupo manteve a denominação anterior “Região Não Alterada”(RNA), agora constituído de vinte e três (23)



estações amostrais. Além das quarenta e oito (48) estações, temos o terceiro grupo localizado a 2500 metros definido com Estações de Referência (REF).

Dos quatro (4) grupos definidos nesta estratégia de análise, três permitem controlar os efeitos espaciais e temporais separadamente. São eles, o grupo de estações localizados na área de referência (REF), o grupo localizado na área de controle interno próxima ao poço (RNA) e o grupo localizado na área com registros da fase de perfuração com fluido base-água (WBF). O quarto grupo e de maior interesse apresenta efeitos aditivos das duas fases de perfuração. O modelo estatístico permite avaliar através das componentes espacial e temporal, se as mudanças ocorridas na área definida como WBF +NAF são decorrentes da atividade com fluido base-aquosa (WBF) ou não-aquosa (NAF), ou ainda das duas fases de perfuração somadas.

Os limites das regiões (Fig. 3.26 e 3.27) foram definidos por critérios subjetivos atendendo as restrições já discutidas sobre a Figura 3.25.

#### 4. UM ENFOQUE GEOESTATÍSTICO APLICANDO INFERÊNCIA BAYESIANA NA DEFINIÇÃO ESPACIAL DA REGIÃO ALTERADA PELOS DIFERENTES INDICADORES DA ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO

Ambas as abordagens 3.1 e 3.2, definiram uma região espacial modificada a partir da atividade de perfuração do poço, registrada durante a segunda operação de amostragem (MD2), através de critérios subjetivos. Somente os pontos de cortes propostos estão fundamentados em critérios estatísticos.

O limite estabelecido para classificar a estação amostral de acordo com a “quantidade” observada no MD2 (segunda operação de amostragem) permite inferir, que a média da região se modificou significativamente entre o MD1 e o MD2 no que diz respeito aos indicadores da atividade de perfuração. Esta afirmação é válida pontualmente, isto é, para os diferentes grupos de estações amostrais observadas. No entanto até este momento nada se pode afirmar com base probabilística e inferencial a respeito da região definida no espaço contínuo.

Nesta direção, um estudo complementar utilizou técnicas de inferência Bayesiana para definir por meio de critérios probabilísticos, a região modificada pela a atividade de perfuração, em particular pelo uso dos diferentes fluídos de perfuração.

Os modelos utilizados fazem uso das suposições intrínsecas aos dados geoestatísticos discutidas no Capítulo 2. Foram empregadas técnicas de inferência Bayesiana (Cap. 2.2.5.5) para estimar o espaço de parâmetros  $\theta$ , onde  $\theta = (\beta, \tau, \phi \sigma^2, k)$  que são por definição, os parâmetros dos modelos teóricos geoestatísticos. A predição de valores para os locais não observados seguiu o modelo discutido no Capítulo 2.3.3, utilizando o método de Simulação por Monte Carlo via Cadeia de Markov (MCMC) para a solução das integrais dada pela equação 2.3.13.

A resolução da malha predita é 20 X 20 *pixels*. A resolução proposta gera 400 pontos para serem preditos de 52.5 X 52.5 metros (Fig 4.1). Excluindo os extremos, 352 pontos foram preditos pelo modelo. Cada pixel tem uma área correspondente a 2,756. 25 m<sup>2</sup>. A aparente baixa resolução na malha predita permite ainda, definir com bastante

precisão a região alterada pelos indicadores da atividade de perfuração. O limite de 400 *pixels* está diretamente relacionado à capacidade de processamento dos métodos de predição Bayesiana empregados e o tempo esperado para os resultados.

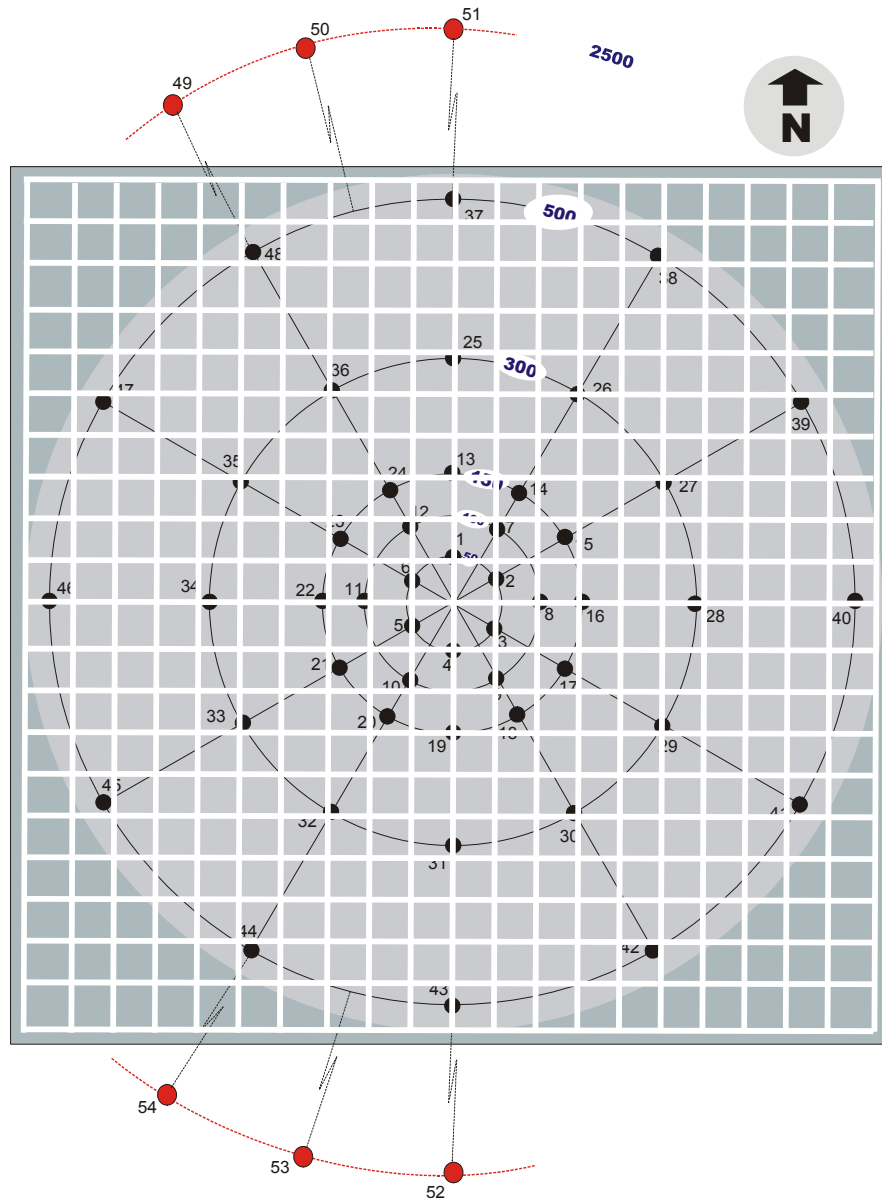


Figura 4.1 – Resolução da malha utilizada para estimativa dos parâmetros e predição das localidades não observadas.

#### 4.1 Análise espacial da variável Fração lineares + UCM C14 a C20.

De acordo com o Capítulo 3, a variável Fração Lineares + UCM C14 a C20 caracteriza-se por ser forte indicador da fase de perfuração que utiliza o Fluido Não-Aquoso (NAF).

Aplicando o modelo descrito no capítulo 2.2.5.5 foram tomadas sub-amostras da variável aleatória definida como Fração Lineares + UCM C14 a C20. A auto-correlação detectada na cadeia, principalmente a partir dos parâmetros  $Kappa$  e  $Tau$  determinou uma sub-amostragem de Lag=30. As densidades atribuídas a priori são descritas abaixo. A rara informação a respeito do comportamento do espaço de parâmetros  $\theta$  para a variável Lineares +UCM, fração C14 a C20 foi determinante na forma do conjunto de densidades a priori, neste caso pouco informativas .

##### 4.1.1 - Fração Lineares + UCM C14 a C20 na primeira operação de amostragem - MD1.

As prioris atribuídas aos parâmetros do modelo aplicado sobre a variável Fração Lineares + UCM C14 a C20 na primeira operação de amostragem (MD1) são dadas por

$$\beta \sim dflat$$

$$tau \sim Gamma(0.001, 0.001)$$

$$sigma^2 = 1/tau$$

$$phi \sim Uniforme(0.0005, 0.1)$$

$$phi.inv = 1/phi$$

$$kappa \sim Uniforme(0.051, 1.95)$$

Os resultados da Simulação de Monte Carlo via Cadeias de Markov para estimar as distribuições a posteriori dos parâmetros do modelo proposto são discutidos a seguir.

Tabela 4.1 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

Parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
beta	0.4814	0.6558	0.0071	-0.6748	0.4697	1.621	7984

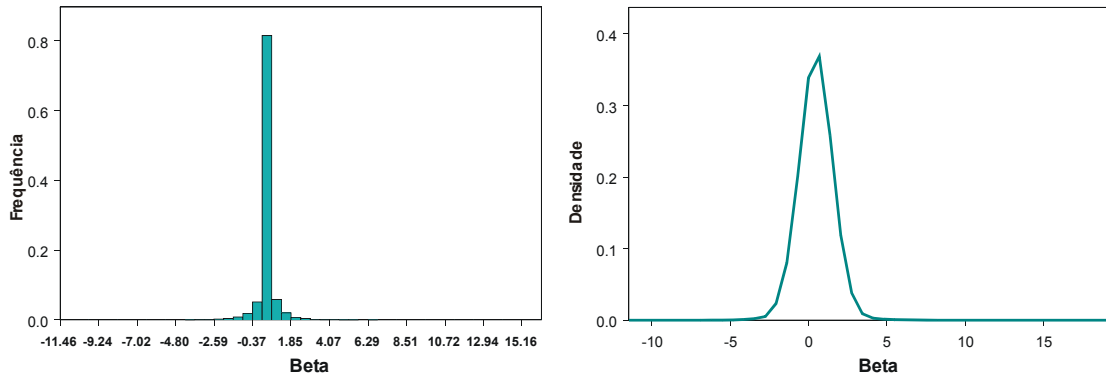


Figura 4.2 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

O parâmetro Beta refere-se à medida de tendência central do processo estocástico. A mediana para Beta foi estimada em 0.4697 ppm e um intervalo com 95% de credibilidade variando de -0.6748 a 0.4697 ( $P[-0.6748 < x < 0.4697] = 0.95$ ).

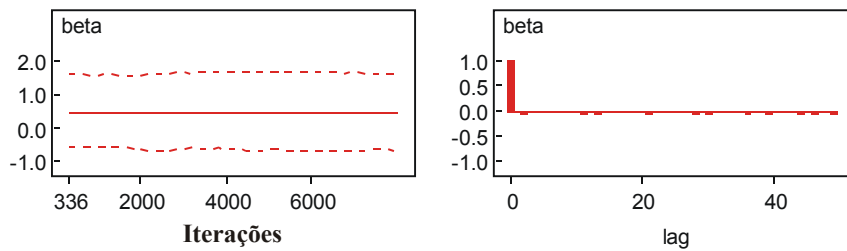


Figura 4.3 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

A função de autocorrelação mostra uma correlação forte nos primeiros lags. A retirada de sub-amostras a partir do total de amostras simuladas, corrigiu o problema detectado anteriormente (não descrito no trabalho) que apontava uma autocorrelação forte até o lag 40.

Tabela 4.2 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Kappa ( $k$ ).

Parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
kappa	0.9364	0.5398	0.0091	0.0936	0.8898	1.894	7984

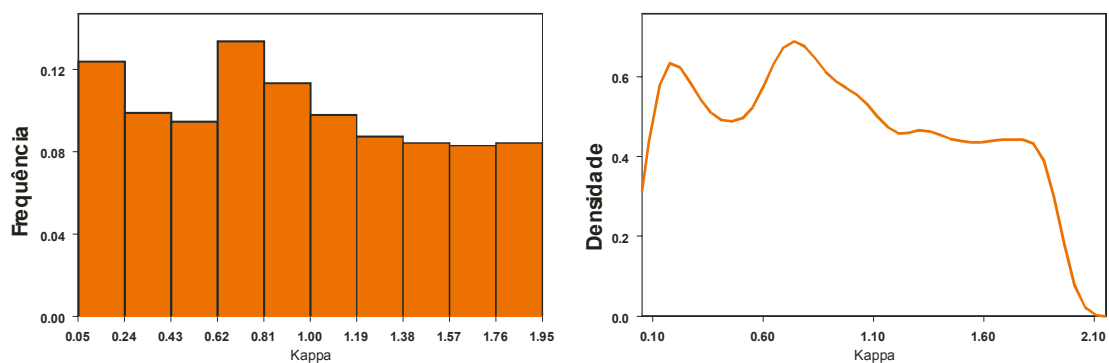


Figura 4.4 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Kappa ( $k$ ).

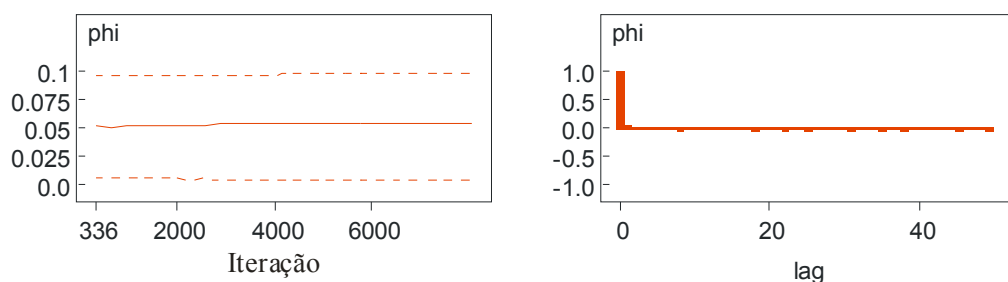


Figura 4.5 – Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Kappa ( $k$ ).

Tabela 4.3 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ ).

Parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Phi	0.0536	0.02764	3.223E-4	0.0051	0.0543	0.0978	7984

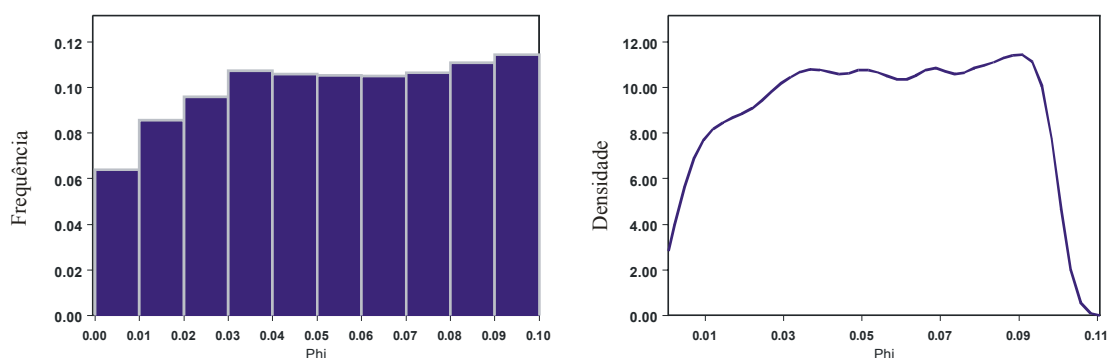


Figura 4.6 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Phi ( $\phi$ ).

A priori, o parâmetro ( $\phi$ ) segue uma distribuição Uniforme (0.0005,0.1) ( $\phi \sim \text{Uniforme}(0.0005, 0.1)$ ). A distribuição de probabilidade a posteriori para o parâmetro Phi ( $\phi$ ) (Fig. 4.6) é distribuída semelhantemente a densidadç...e formulada a priori. A análise do parâmetro dado pelo inverso de Phi ( $1/\phi$ ) combinada com a informação a posteriori sobre Phi pode revelar informação a respeito da estrutura de dependência espacial da variável Lineares + UCM fração C14 a C20 no MD1 (Primeira operação de amostragem).

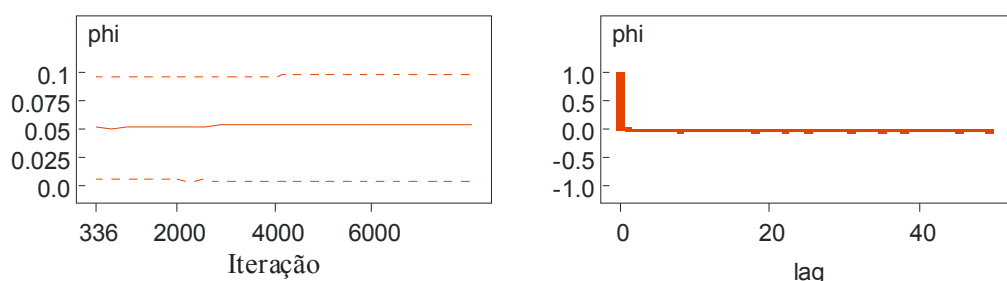


Figura 4.7 – Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Phi ( $\theta$ ).

Tabela 4.4 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro ( $1/\phi$ ) ( $1/\phi$ ).

Parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Phi.inv	38.68	88.48	1.483	10.22	18.42	194.3	7984

A medida  $(1/\phi)$ , definida pelo inverso do parâmetro Phi ( $\theta$ ), aponta a amplitude da correlação espacial da variável estudada dentro dos limites da região observada. Existe uma probabilidade = 0.95 de que a amplitude da correlação espacial  $(1/\phi)$  seja entre 10.22 metros até 194.30 metros. O valor mediano estimado é 18.42 metros. Isto indica que a dependência espacial mais provável seja desta ordem. Este resultado aponta uma provável ausência de efeito espacial observável a partir dos dados coletados

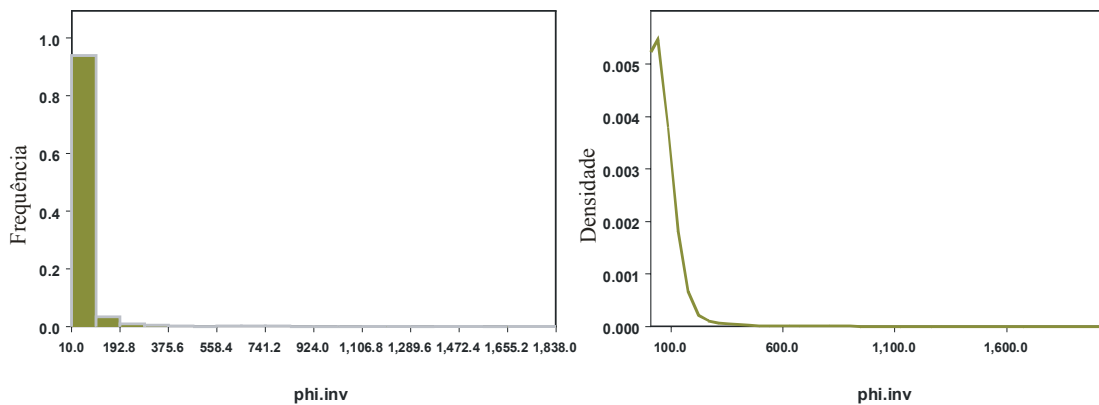


Figura 4.8 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do inverso do parâmetro Phi ( $1/\phi$ ).

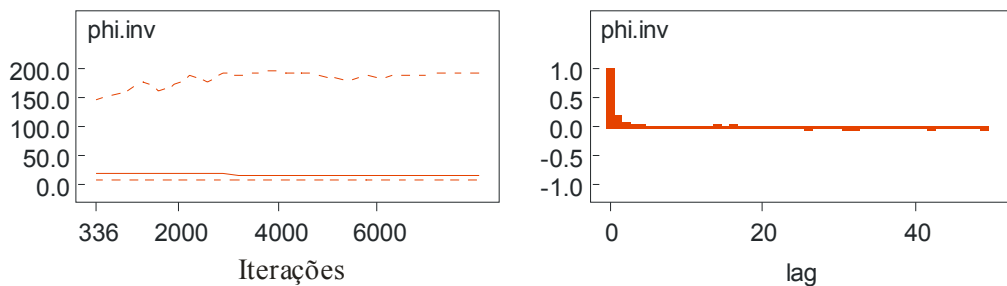


Figura 4.9 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do inverso do parâmetro Phi ( $1/\phi$ ).

A forma da densidade a posteriori para o parâmetro Phi (Fig 4.8) indica que a informação da verossimilhança não alterou de forma significativa a informação a priori ( $\phi \sim Uniforme(0.0005, 0.1)$ ). A amplitude de dependência espacial apontada pelo inverso do parâmetro Phi ( $1/\phi$ ) teve a mediana estimada em 18.42 metros com um intervalo de



credibilidade variando entre 10.22 e 194.3 metros(Tabela 4.4), revelando assim uma dependência espacial de intensidade “pequena”.

Tabela 4.5 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro  $Tau$  ( $\tau$ ).

Parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Tau	6.437	3.293	0.0645	0.3017	7.158	11.66	7984

O parâmetro  $Tau$  ( $\tau$ ) revela a precisão do modelo. Quanto maior for o valor estimado para a medida de tendência central para  $Tau$ , maior será a precisão associada ao modelo.

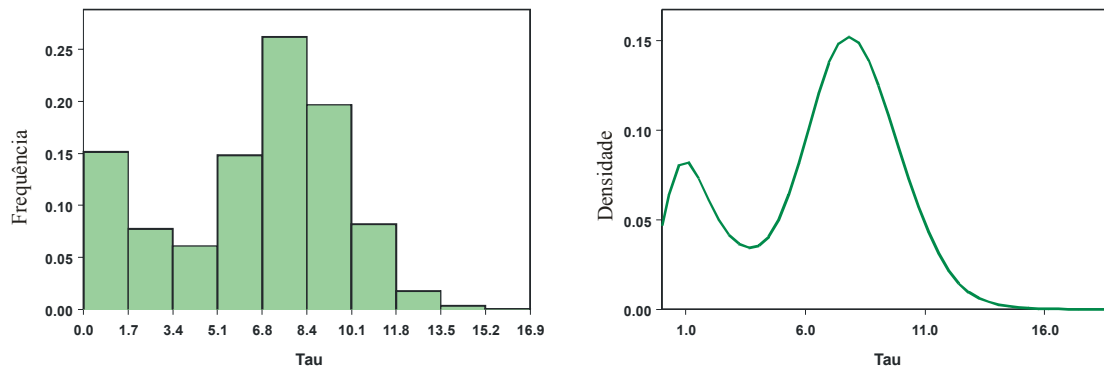


Figura 4.10 – Histograma e a distribuição de probabilidade do parâmetro  $Tau$  ( $\tau$ ).

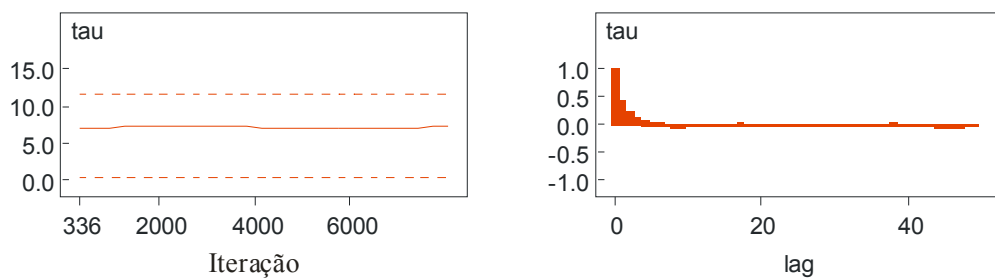


Figura 4.11 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) e do parâmetro  $Tau$  ( $\tau$ ).

Tabela 4.6 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Sigma2 ( $\sigma^2$ ).

Parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Sigma2	0.5873	2.911	0.0681	0.0858	0.1397	3.314	7984

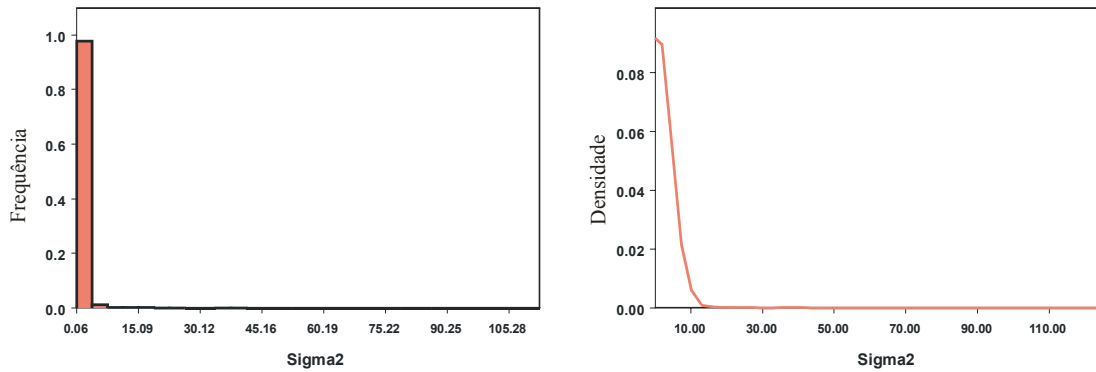


Figura 4.12 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do inverso do parâmetro Tau (Sigma2) ( $1/\tau$ ).

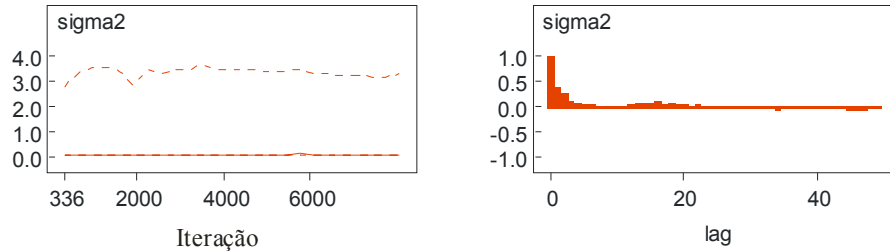


Figura 4.13 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) para o inverso do parâmetro Tau (Sigma2) ( $1/\tau$ ).

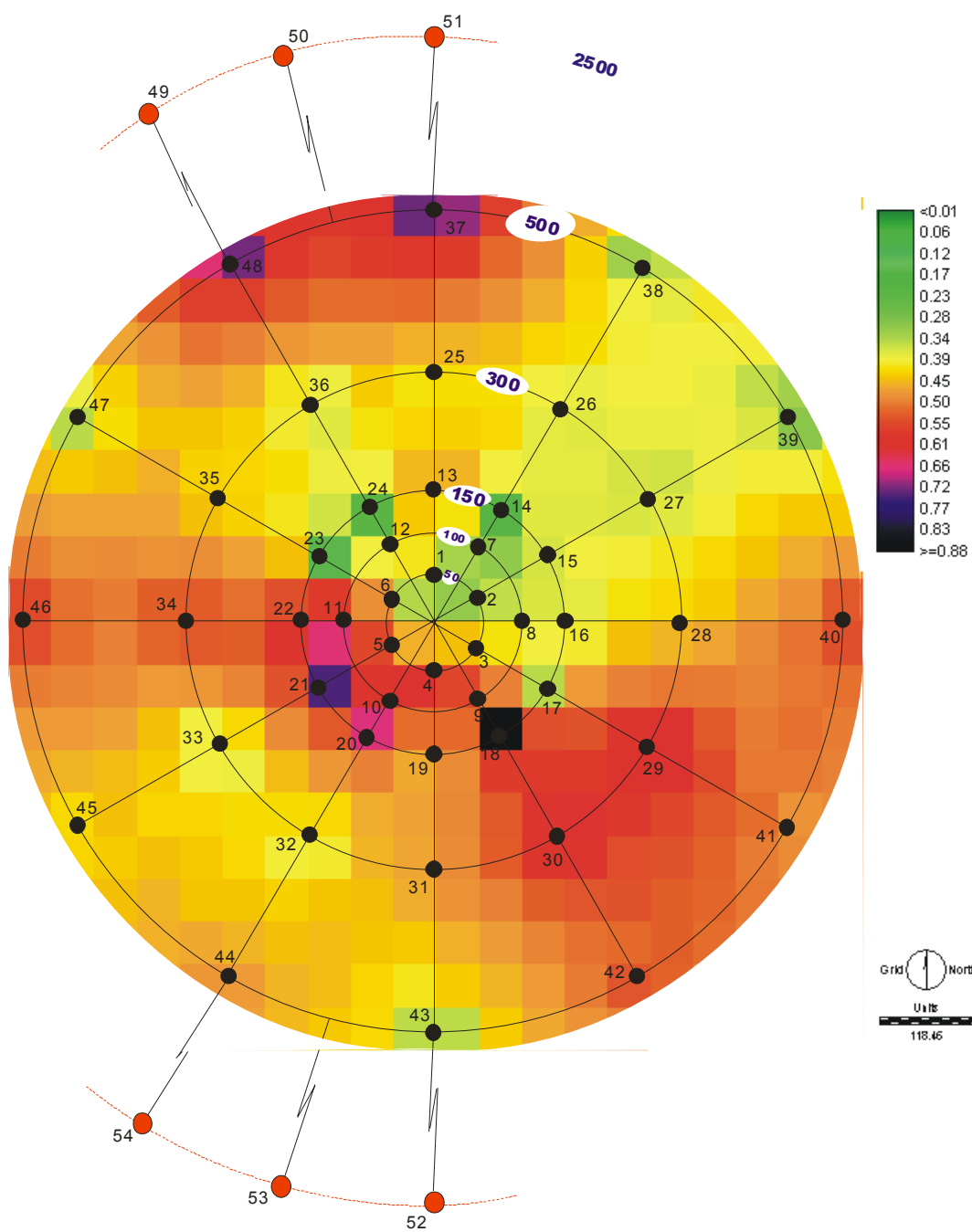


Figura 4.14 Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 na primeira operação de amostragem (MD1).

A estimação dos parâmetros através da simulação de Monte Carlo permitiu a predição de valores para locais onde os dados não foram observados (Fig 4.14). No início do Capítulo 3 a Figura 3.1 descreveu a distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares

C14 a C35 na estação amostral número 21 no MD1. A soma que compõe a fração correspondente ao intervalo entre C14 a C20 registrou o valor observado de 0.79 ppm. A mediana predita pelo modelo foi 0.7389 ppm e um intervalo com 95% de credibilidade variando entre 0.2508 e 1.1430 ppm (Tabela 3.12). O valor observado de 0.79 ppm esta dentro do intervalo predito com 95% de credibilidade definido a partir da posteriori (Fig.4.15) para a região (Pixel).

Tabela 4.7 - Medidas de tendência central e variabilidade preditas, para a região (Pixel) em que foi extraída a amostra número 21 no MD1.

<b>Estação</b>	<b>média</b>	<b>DP</b>	<b>MC erro</b>	<b>2.5%</b>	<b>Mediana</b>	<b>97.5%</b>
21 [228]	0.7244	0.2202	0.0025	0.2508	0.7389	1.143

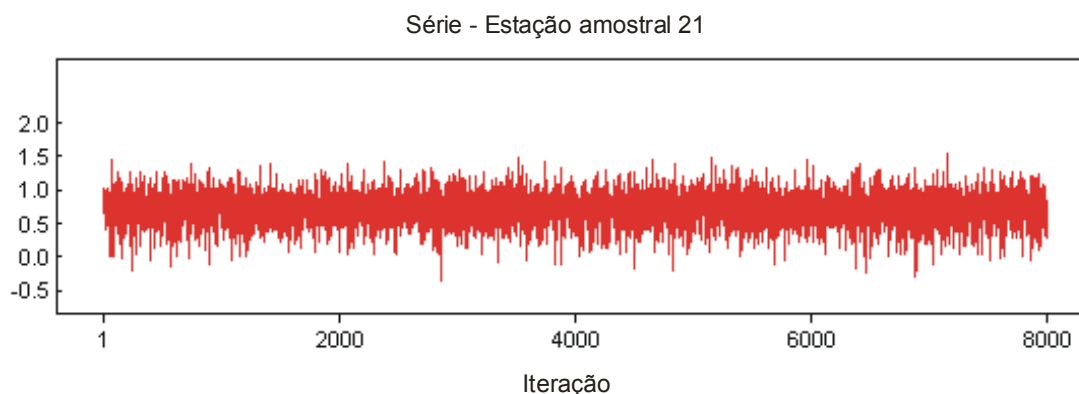


Figura 4.15 - Série histórica dos valores amostrados para a variável fração lineares + UCM C14 a C20, obtidos a partir da simulação MCMC para a região onde está localizada a estação amostral número 21 antes da perfuração (MD1).

A convergência (Fig 4.15) da cadeia para a predição amostrada a partir da distribuição a posteriori do valor esperado para a região onde foi extraída a amostra número 21 no MD1 (primeira operação de amostragem). Analogamente a série associada à estação amostral número 21 as demais séries para os 352 valores preditos pelo modelo mostraram

comportamento semelhante, evidenciando uma estabilidade ao longo do processo de amostragem.

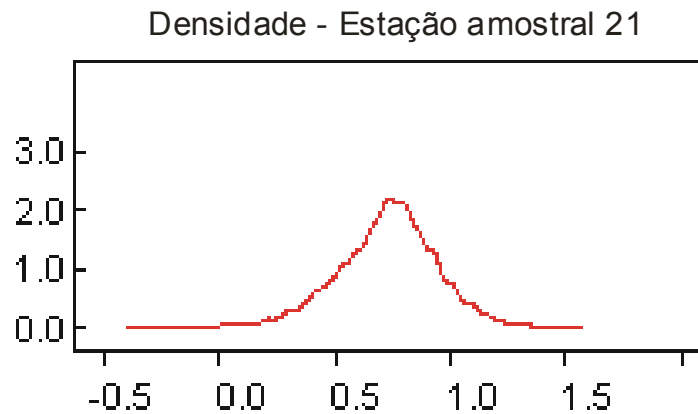


Figura 4.16 - Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 21 antes da perfuração (MD1).

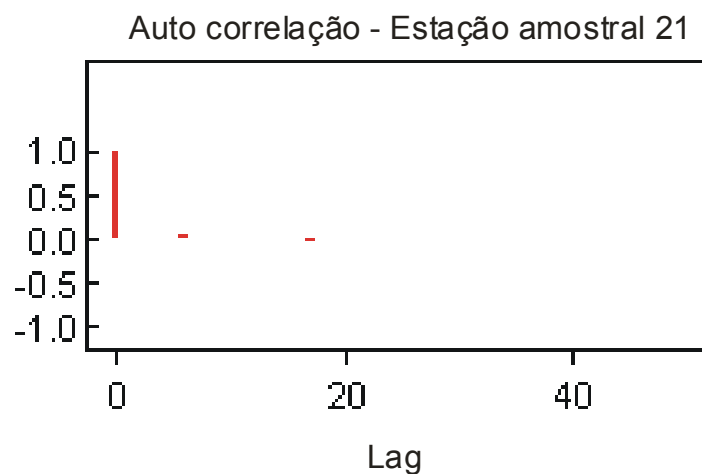


Figura 4.17 - Função de autocorrelação da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 21 antes da perfuração (MD1).

Já a Figura 3.3 descreve a distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares C14 a C35 na estação amostral número 25 no MD1. A soma que compõe a fração correspondente ao intervalo entre C14 a C20 registrou o valor observado de 0.31 ppm. A mediana predita pelo modelo foi 0.4111 ppm com um intervalo de credibilidade de 95%, variando entre -

0.2381 e 1.084 ppm (Tabela 4.8). Isto é, existe uma probabilidade de 0.95 de que o verdadeiro valor esteja dentro do intervalo proposto. Complementarmente resalta-se que o valor observado de 0.31 ppm esta dentro do intervalo predito com 95% de credibilidade definido a partir da posteriori (Fig. 4.19) para a região (Pixel).

Tabela 4.8 - Medidas de tendência central e variabilidade estimadas, da região que foi extraída a amostra número 25 no MD1.

<b>estação</b>	<b>média</b>	<b>DP</b>	<b>MC erro</b>	<b>2.5%</b>	<b>mediana</b>	<b>97.5%</b>
25 [90]	0.4148	0.3371	0.0036	-2381	0.4111	1.084

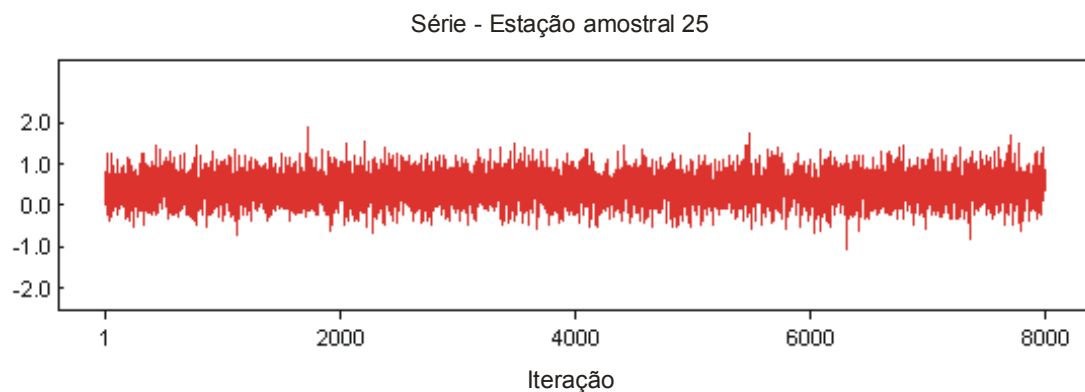


Figura 4.18 Série histórica da variável fração lineares + UCM C14 a C20, com os valores amostrados a partir da simulação MCMC para a região onde está localizada a estação amostral número 25 antes da perfuração (MD1).

Analogamente à série observada para a estação amostral número 21, a série histórica (Fig. 4.18) obtida para a região de onde foi extraída a amostra número 25, convergiu para a distribuição a posteriori (Fig 4.19) no MD1 (primeira operação de amostragem).

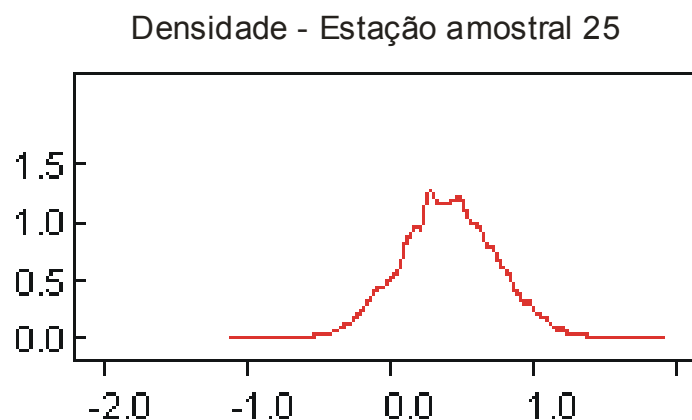


Figura 4.19 - Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 25 antes da perfuração (MD1).

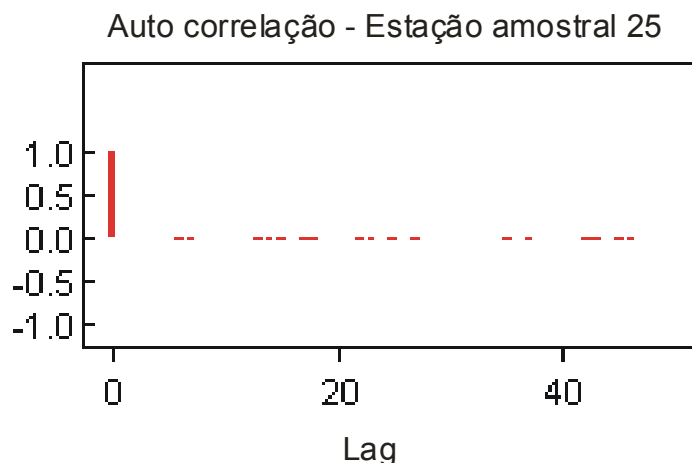


Figura 4.20 - Função de auto-correlação da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 25 antes da perfuração (MD1).

#### 4.1.2 - Fração Lineares +UCM C14 a C20 na segunda operação de amostragem – MD2.

Análises químicas (Peralba et al, 2003) associaram a variável em estudo, ao Fluido de Perfuração Não-Aquosos identificado pela sigla NAF (*Non Aquous Fluid*). A evidência indica que, a Fração Lineares + UCM C15 a C20 é um importante indicador para esta fase de perfuração.

As priors atribuídas aos parâmetros do modelo aplicado a variável Fração Lineares + UCM C14 a C20 na segunda operação de amostragem (MD2) preservam a forma já atribuída anteriormente as análises realizadas a partir dos dados observado na primeira operação de amostragem. De fato, pouco é pouco provável que os padrões encontrados no MD1, que poderiam ser usados como priors informativas, estejam mantidos após a operação da plataforma.

$\beta \sim dflat$   
 $\tau \sim \text{Gamma}(0.001, 0.001)$   
 $\sigma^2 = 1 / \tau$   
 $\phi \sim \text{Unifome}(0.0005, 0.1)$   
 $\phi.inv = 1 / \phi$   
 $\kappa \sim \text{Unifome}(0.051, 1.95)$

Tabela 4.9 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Beta	1.933	8.989	0.1141	-15.05	2.251	18.73	7501

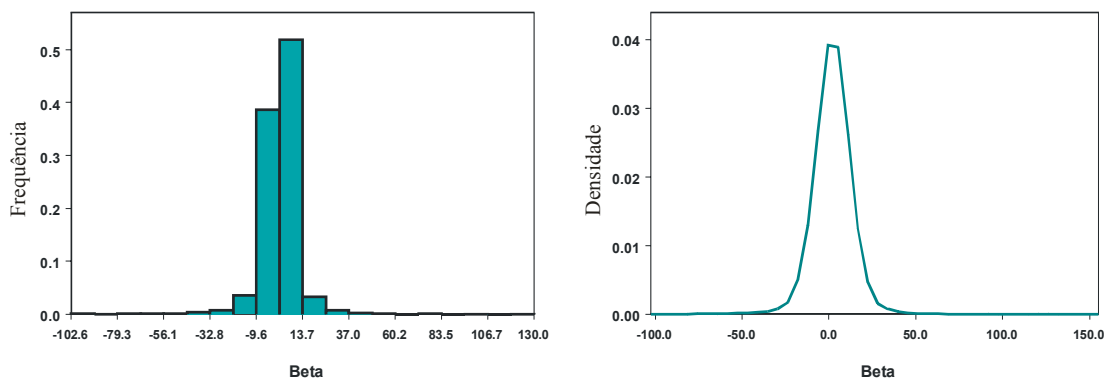


Figura 4.21 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

A distribuição de Beta refere-se medidas de tendência central do processo. A mediana para Beta no MD2 foi estimada 2.251 ppm com um intervalo de credibilidade de



95%, variando de -15.05 a 18.73 ppm. O intervalo com 95% de credibilidade para Beta no MD2 é maior que o intervalo predito para Beta no MD1. Na primeira operação de amostragem (MD1), a mediana estimada foi 0.4697 ppm com um intervalo de credibilidade de 95% variando entre -0.6748 e 1.624 ppm. Consta-se que, apesar de apresentar um valor predito maior para mediana na segunda operação de amostragem (MD2), o intervalo com 95% credibilidade registra simultaneamente uma amplitude maior (Tabela 4.9).

A diferença encontrada no comportamento pode ser atribuída a uma alteração na média do processo em uma região restrita no espaço. Se um possível aumento sobre a medida de tendência central fosse observado em toda a região estudada, de forma homogênea, a variabilidade não seria alterada significativamente. O acréscimo de uma constante na distribuição de probabilidade a posteriori não altera a variância da mesma. Não é isto que foi observando neste caso.

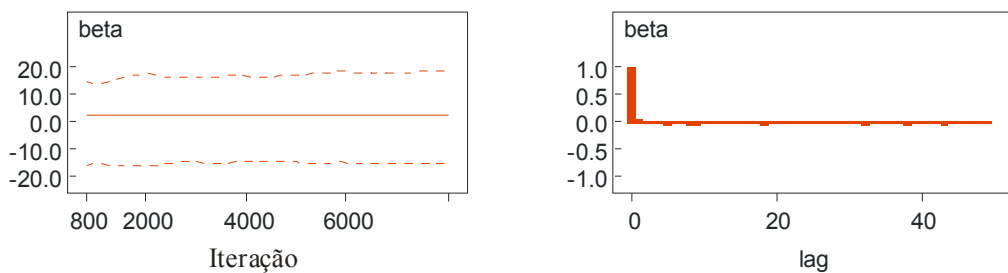


Figura 4.22 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

Analogamente ao MD1, a função ACF mostra uma autocorrelação forte somente nos primeiros *lags*. A retirada de sub-amostras do total de amostras simuladas corrigiu o problema detectado anteriormente que apontava uma autocorrelação forte até o lag 40.

Tabela 4.10 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Kappa ( $k$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
kappa	0.7083	0.5528	0.0108	0.0738	0.5766	1.869	7501

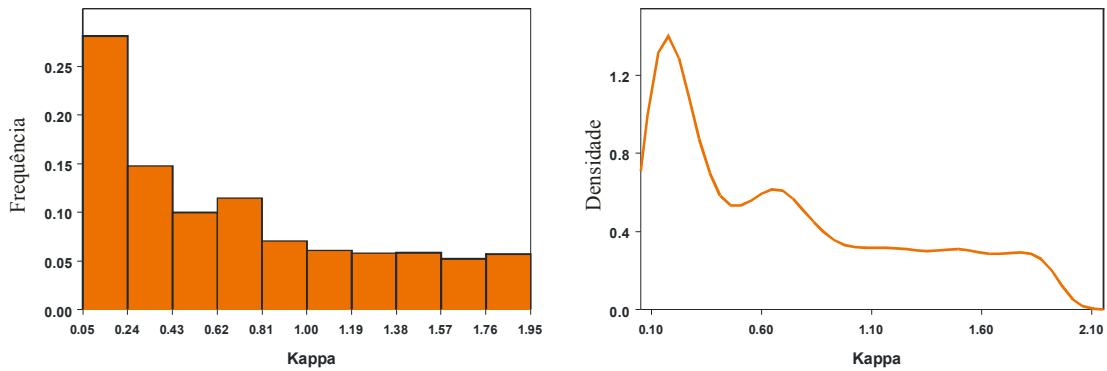


Figura 4.23 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Kappa ( $k$ ).

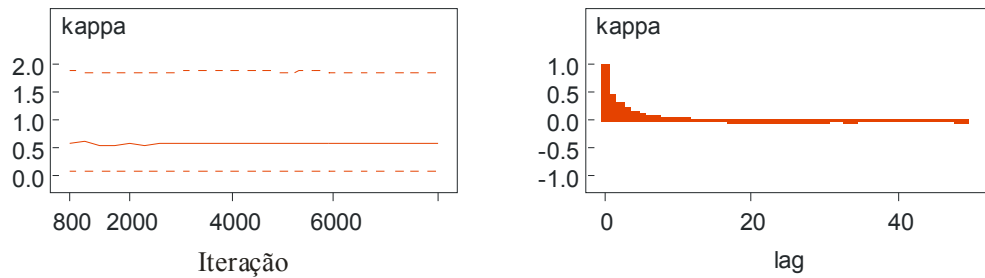


Figura 4.24 – Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Kappa ( $k$ ).

Tabela 4.11 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Phi	0.0551	0.0273	0.0004	0.0056	0.0572	0.0979	750

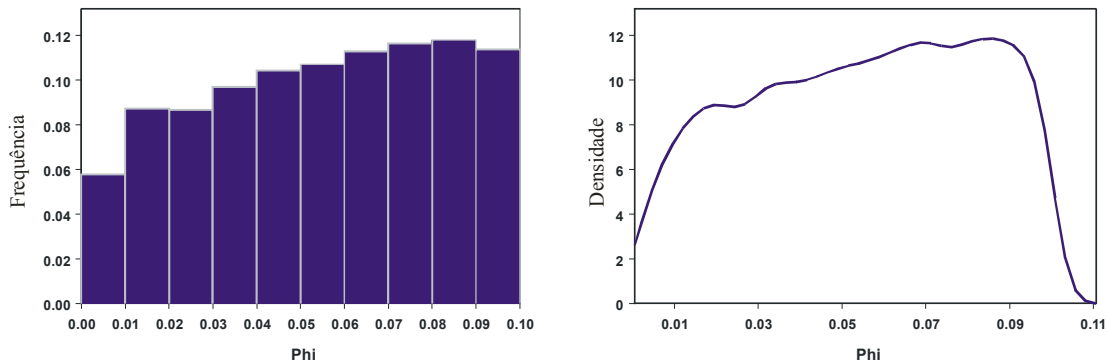


Figura 4.25 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Phi ( $\phi$ ).

A priori,  $\phi \sim \text{Uniforme}(0.0005, 0.1)$ . A distribuição de probabilidade a posteriori para o parâmetro Phi ( $\phi$ ) (Fig. 4.25) indica uma “massa” de probabilidade mais concentrada em valores maiores. Como resultado, a amplitude de dependência espacial ( $1/\phi$ ) apresentará probabilidades maiores em valores de pequena amplitude.

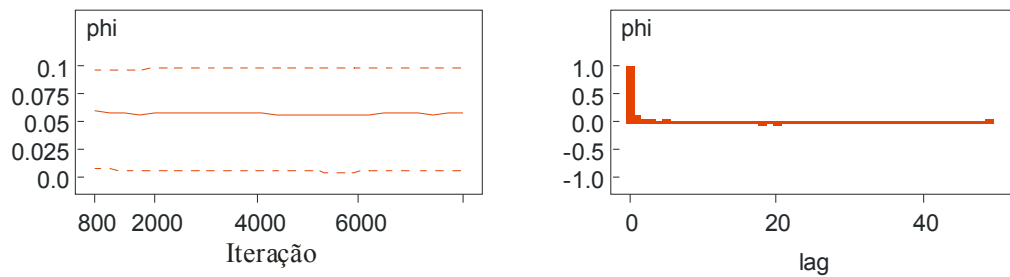


Figura 4.26 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Phi ( $\theta$ ).

Tabela 4.12 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Tau	0.0562	0.0398	8.788E-4	0.0017	0.0611	0.1261	7501

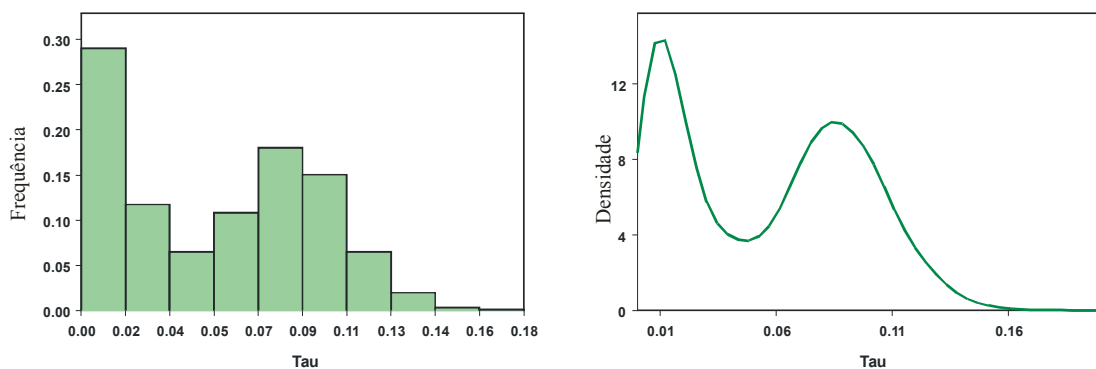


Figura 4.27 – Histograma e a distribuição de probabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ).

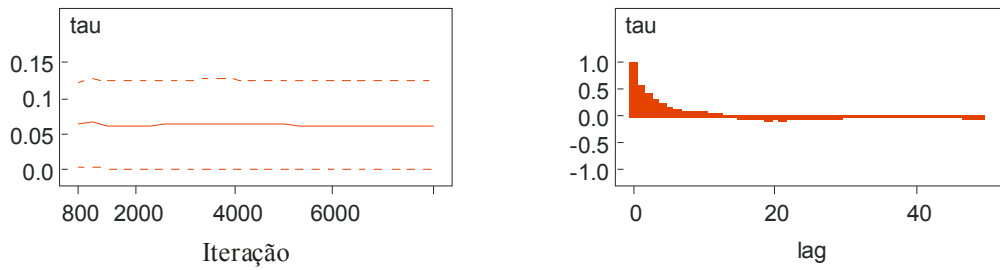


Figura 4.28– Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Tau ( $\tau$ ).

Tabela 4.13 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Sigma2 ( $\sigma^2$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Sigma2	92.73	392.9	7.718	7.93	16.38	572.9	7501

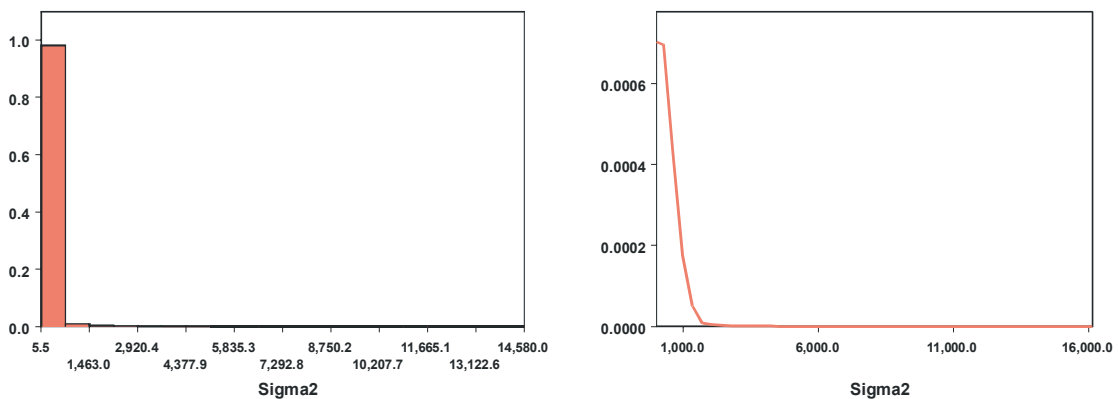


Figura 4.29 – Histograma e a distribuição de probabilidade para (Sigma2) ( $1/\tau$ ).

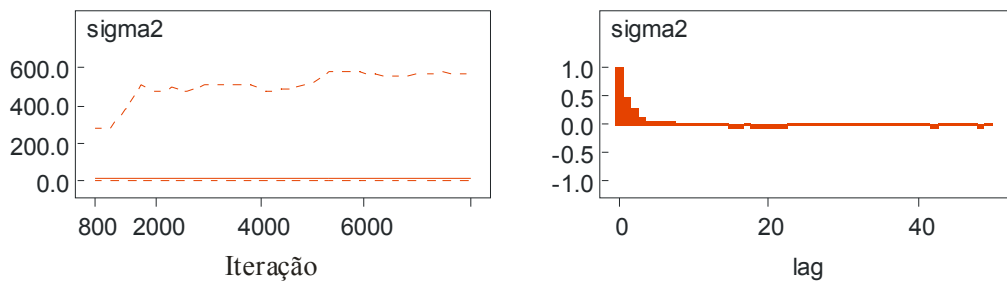


Figura 4.30 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do inverso do parâmetro Tau (Sigma2) ( $1/\tau$ ).

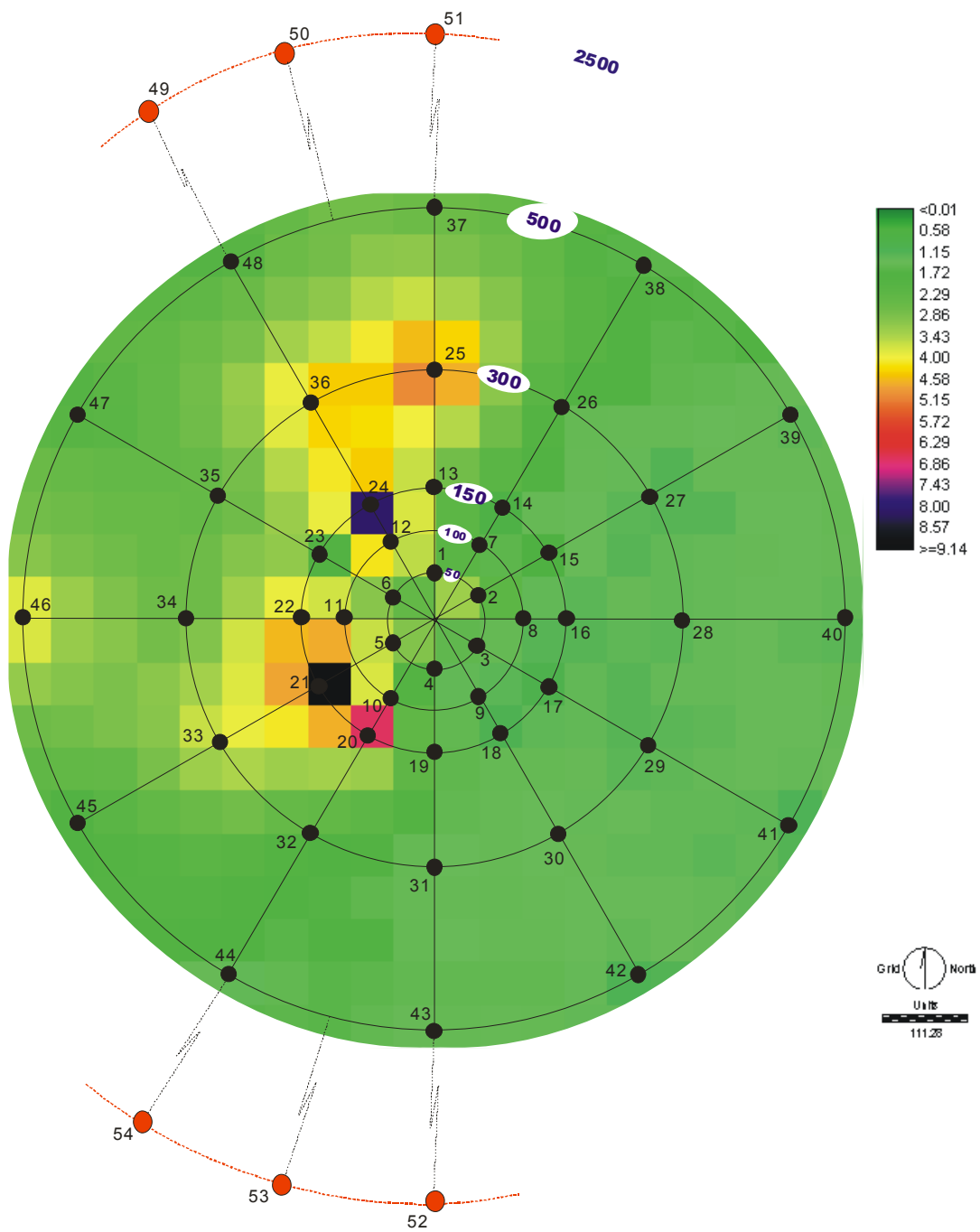


Figura 4.31 - Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 após a atividade de perfuração (MD2).

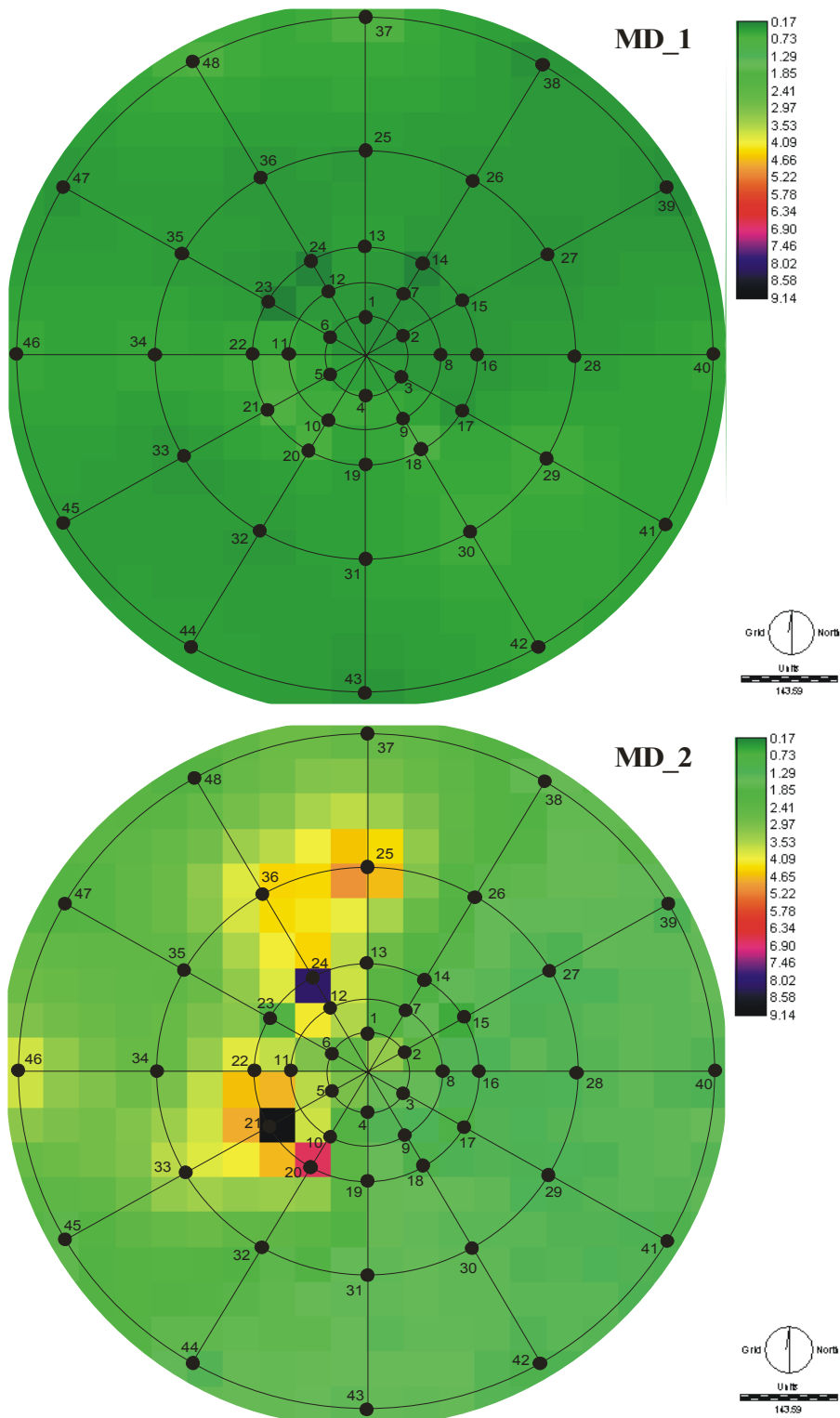


Figura 4.32 - Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 antes da atividade de perfuração (MD1) e um mês após o término das atividades (MD2).

Analogamente ao MD1, a estimação dos parâmetros através da simulação de Monte Carlo permitiu a predição de valores para locais onde os dados não foram observados (Fig.4.31). No início do Capítulo 3 a Figura 3.2 descreveu a distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares C14 a C35 na estação amostral número 21 no MD2. A soma que compõe a fração correspondente ao intervalo entre C14 a C20 registrou 11.43 ppm (Fig 3.2, elipse vermelha) contra 0.79 ppm no MD1 (Fig.3.1). A mediana predita pelo modelo foi 9.1440 ppm com um intervalo de credibilidade variando entre 2.7580 e 13.1300 ppm (Tabela 3.12). O valor observado de 9.1440 ppm esta dentro do intervalo predito com 95% de credibilidade definido a partir da posteriori (Fig. 4.32) para a região (Pixel).

Tabela 4.14- Medidas de tendência central e variabilidade estimadas, da região em que foi extraída a amostra número 21 no MD2.

<b>estação</b>	<b>média</b>	<b>DP</b>	<b>MC erro</b>	<b>2.5%</b>	<b>mediana</b>	<b>97.5%</b>
21 [228]	8.7470	2.7580	0.0407	2.3530	9.1440	13.1300

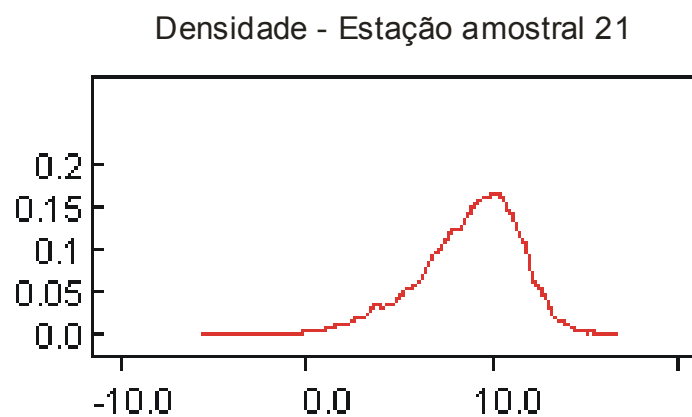


Figura 4.33 - Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 21 após a atividade de perfuração (MD2).

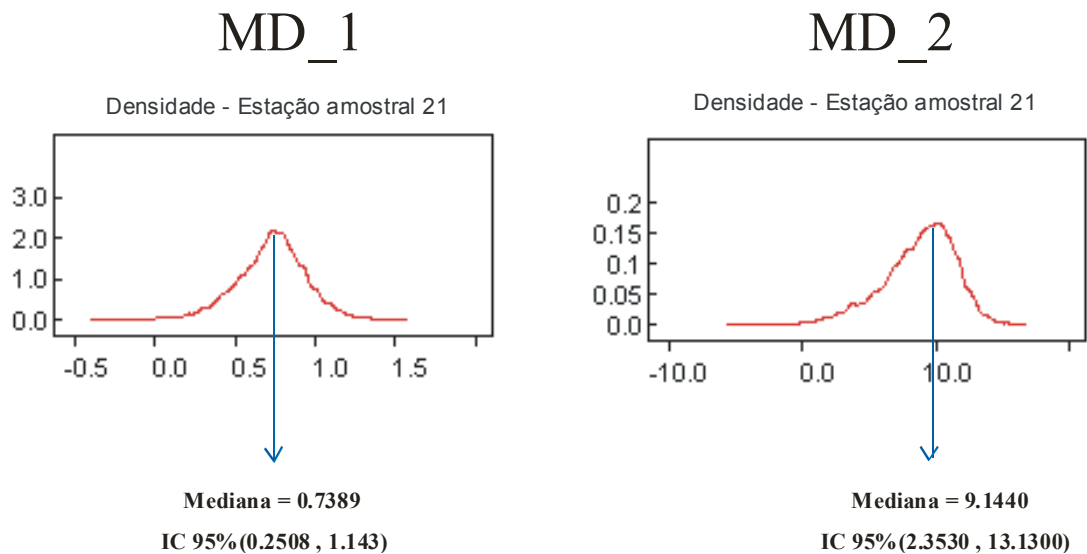


Figura 4.34 - Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 21 antes da atividade de perfuração (MD\_1) e após a atividade de perfuração (MD\_2).

A hipótese de que a variabilidade aumenta após a atividade de perfuração (MD2) é indicada pelo intervalo de credibilidade para o parâmetro Beta ( $\beta$ ) (Tabela 4.14).

Este comportamento é observado simultaneamente nas posteriores para uma dada localização  $s_0$ . Comparando as densidades associadas à região definida pelo *pixel* 228, (localização da estação amostra número 21) fica evidente que, simultaneamente ocorre um aumento no valor predito para a mediana e no intervalo de credibilidade de 95%. Enquanto que o valor predito pelo modelo para mediana no MD1 foi 0.7389 com um IC95% (0.2508, 1.143), no MD2 o valor predito para a mediana foi de 9.1440 com um IC95% (2.3530,13.1300).

A densidade a posteriori para o *pixel* 228 no MD2 (Fig.4.32) está deslocada a direita em relação à mediana do processo dada por Beta ( $\beta$ ) no MD2 (Tabela 4.9).

A Figura 3.4 descreve a distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos lineares C14 a C35 na estação amostral número 25 no MD2. A soma que compõe a fração correspondente ao intervalo entre C14 a C20 registrou 10.63 ppm. A mediana predita pelo modelo foi 5.0280 ppm com um intervalo de credibilidade variando entre -0.2090 e 11.6700 ppm



(Tabela 4.14). O valor observado de 10.63 ppm esta dentro do intervalo predito com 95% de credibilidade definido a partir da posteriori (Fig. 4.32) para a região (Pixel).

Diferentemente da estação amostral número 21, a estação amostral número 25 mostrou a mediana predita mais afastada do valor observado e mais próximo do valor predito para Beta ( $\beta$ ) (medida de tendência central do processo). Este comportamento será discutido posteriormente e está diretamente relacionada à estrutura de covariância espacial registrada nos dados observados

Tabela 4.15 - Medidas de tendência central e variabilidade estimadas, da região que foi extraída a amostra número 25 no MD2.

<b>estação</b>	<b>média</b>	<b>DP</b>	<b>MC erro</b>	<b>2.5%</b>	<b>mediana</b>	<b>97.5%</b>
25 [90]	0.9380	3.5490	0.0392	-2.2090	5.0280	11.6700

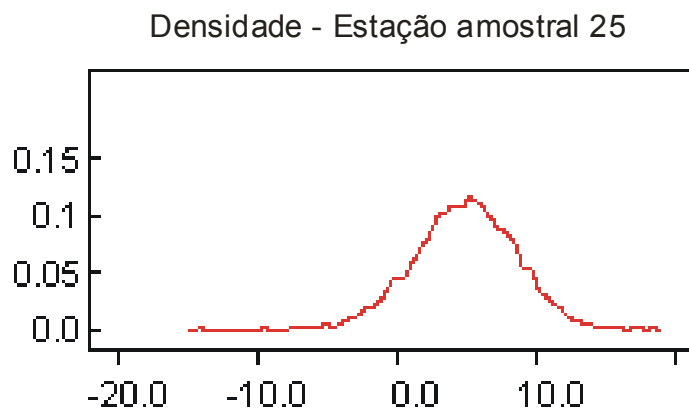


Figura 4.35 Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 25 após a perfuração (MD2).

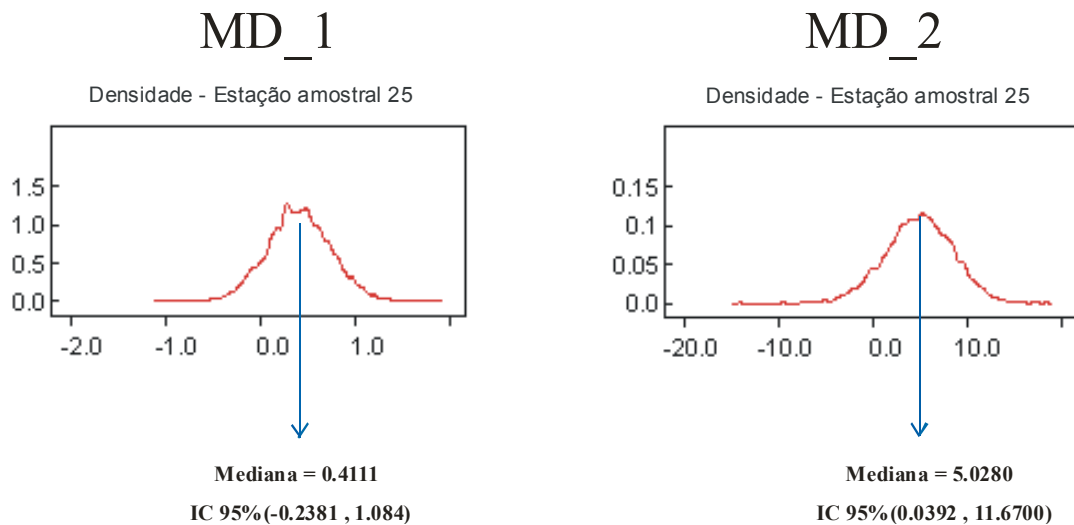


Figura 4.36 - Densidade a posteriori da fração lineares + UCM C14 a C20 para a região onde está localizada a estação amostral número 25 antes da atividade de perfuração (MD\_1) e após a atividade de perfuração (MD\_2).

O modelo ajustado previu um valor para a mediana associada à região da estação amostral número 21 no MD2, muito próximo do valor observado. O esperado é que realmente observemos o valor mais provável, de acordo com a teoria ergódica (Cap 2.2.2.1). No caso da estação amostral número 25, no MD2, a mediana predita não se aproxima do valor observado com a mesma intensidade observada na estação número 21.

O primeiro ponto a ser destacado é que a distribuição da malha amostral não foi definida regularmente. As estações amostrais foram dispostas irregularmente no espaço, concentrando-se mais próximas ao poço.

O segundo ponto está relacionado à suposição de estacionariedade do processo que pode não estar atendida.

Se os dados apontam uma variabilidade alta para amostras separadas por uma distância pequena, o modelo não poderá prever com a mesma credibilidade, valores para pontos afastados por distâncias maiores. Amostras localizadas próximas ao centro (Fig.3.63 círculo amarelo) apresentaram variabilidade alta no MD2. O modelo reconheceu este padrão e como resultado, aumentou a incerteza sobre a predição de locais onde as vizinhanças se encontra a distâncias maiores. Nesta sentido, os valores preditos na região

cinza, por exemplo, tendem a estar mais próximos da média do processo.(Fig 4.35) No caso em estudo, é visível, tendência de padrões diferentes para as incertezas associadas às estações amostrais localizadas na região amarela (Fig 4.35) e as estações amostrais localizadas na região cinza (Fig 4.35). No entanto não devemos raciocinar de forma rígida sobre as regiões definidas na Figura 4.35. A ilustração pretende apontar uma direção, podendo em alguns casos haver comportamento diferenciado da situação exemplificada.

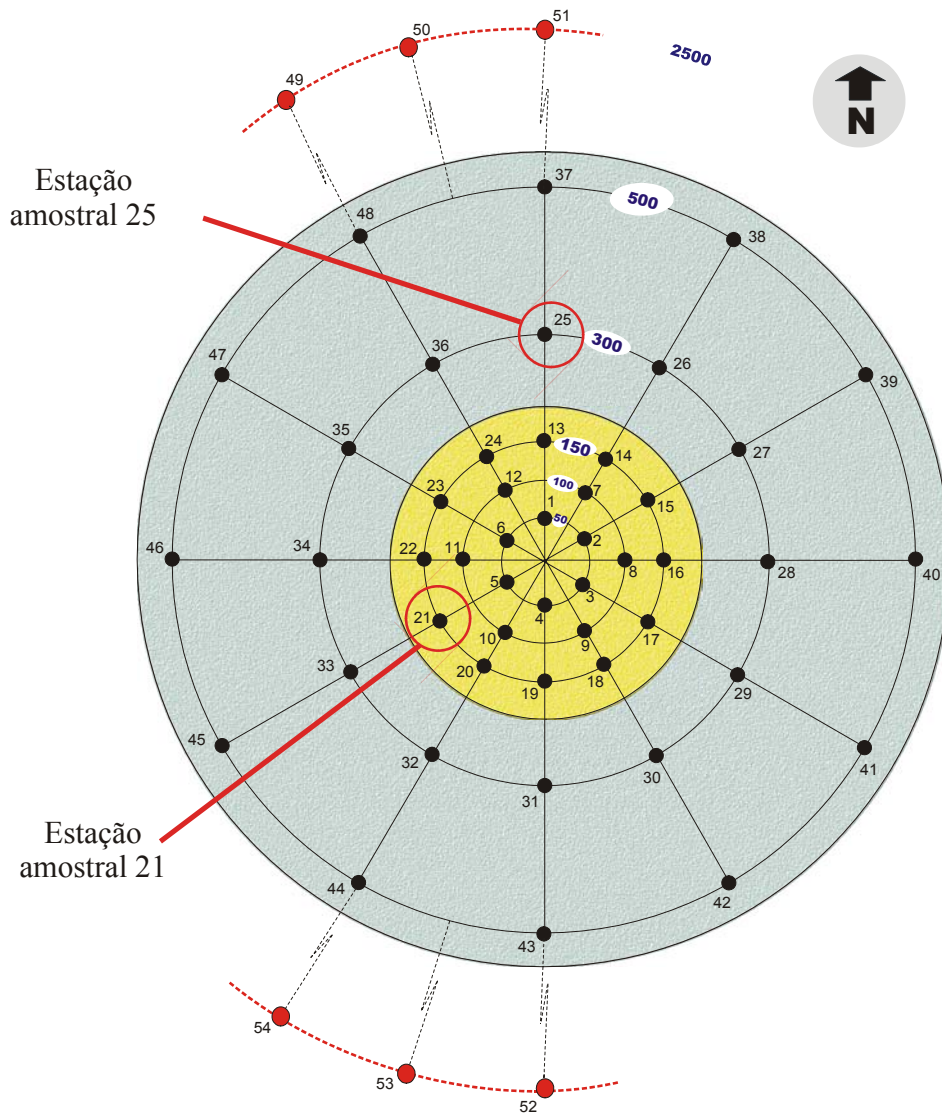


Figura 4.37 - localização das estações amostrais destacando as de números 21 e 25. A Figura descreve duas regiões definidas pela diferença de adensamento amostral.

A partir do Intervalo de credibilidade predito para Beta ( $\beta$ ) no MD1 (Tabela 4.9) foi definido um mapa de probabilidades para a variável fração lineares + UCM C14 a C20. O limite superior do intervalo com credibilidade de 95% para Beta ( $\beta$ ) no MD1 é 1.621 ppm.

O mapa de probabilidades (Fig 4.36) descreve para cada *pixel*, a probabilidade do valor predito no MD2 da variável fração lineares + UCM C14 a C20 ser maior que o limite superior do intervalo predito para Beta no MD1 que é de 1.621 ppm.

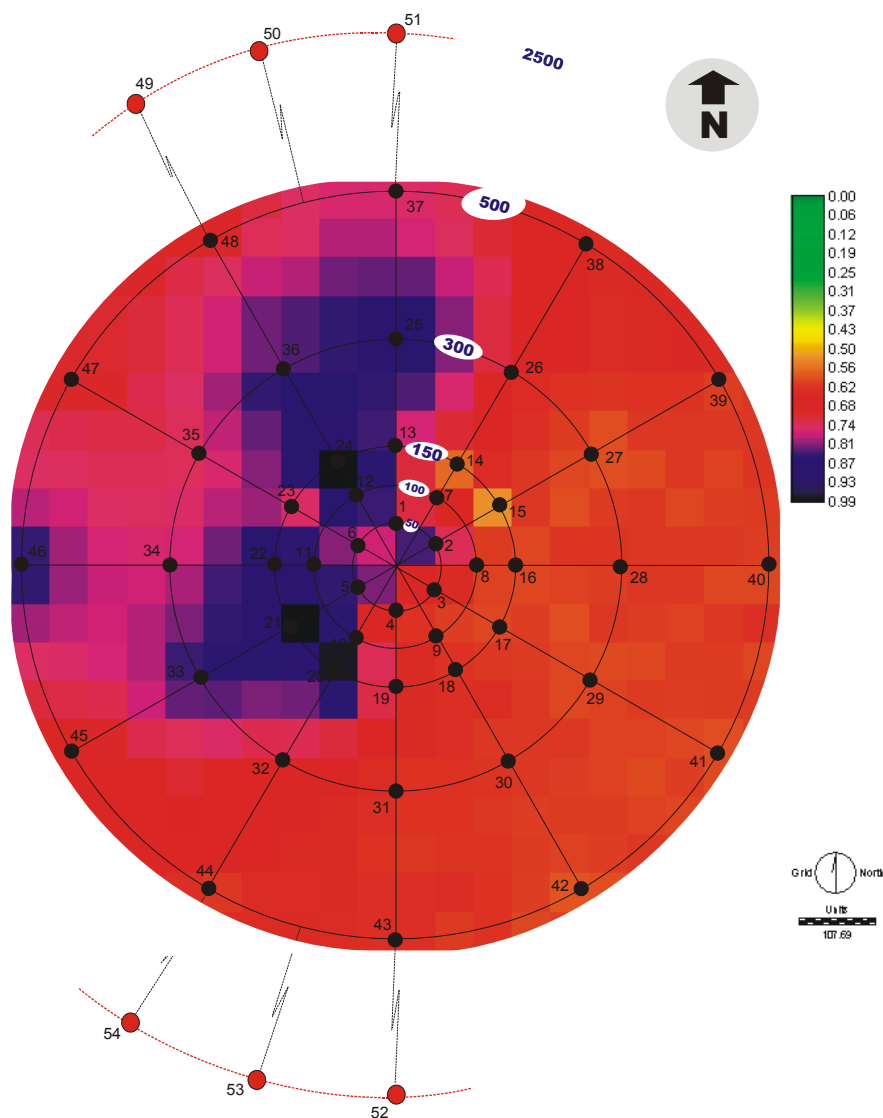


Figura 4.38 - Mapa descrevendo a probabilidade de que o valor da variável fração lineares + UCM C14 a C20 seja maior que 1.621 ppm.

Os *pixels* com tonalidades mais escuras sugerem uma região definida por probabilidades de que, os valores preditos no MD2 (segunda operação de amostragem) sejam superiores 1.621 ppm. A definição do “limites” da região de impacto pode ser feita adotando-se diferentes critérios. A abordagem adotada e descrita a seguir é baseada na restrição de que a Região Não Alterada (RNA) deve apresentar uma mediana que flutue dentro do intervalo com 95% de credibilidade predito para a mediana MD1. O ponto de corte passa pela probabilidade que preserva a mediana da região não alterada (RNA) igual ou menor de 1.621ppm. Quanto maior for a probabilidade de que determinado valor seja maior que 1.621, menor será a Região Alterada (RA). Quanto menor for esta probabilidade maior será a Região Alterada (RA). Neste cenário, existe um limite dado por um valor de probabilidade que preserva a mediana para a Região Não Alterada dentro do intervalo com 95% de credibilidade para Beta no MD1. O valor encontrado foi  $p \geq 0.77$ .

Esta probabilidade está associada à definição da malha predita. Resoluções diferentes produzirão diferentes valores de probabilidade para atender a restrição sobre o limite superior da mediana da Região Não Alterada (RNA). Através deste critério foi produzido o mapa (Fig 4.37) que descreve as duas regiões obtidas por meio da estratégia apresentada.

Supondo que  $j = 1, N$  onde  $N$  é o número de estações amostrais observadas, neste contexto, uma nova variável  $cov[j]$  foi construída a partir do resultado mostrado na Figura 4.37. Os *pixels* foram classificados com pertencentes à Região Alterada (RA) (região azul na Figura 4.37) e pertencentes à Região Não-alterada (RNA) (Região amarelo na Figura 4.37). Como forma de verificar a hipótese, um modelo espacial foi ajustado para investigar a respeito das medianas de cada região e efeito espacial conjunto.

A suposição inicial é que os dados seguem distribuição normal com média  $S[j]$  e precisão  $\tau$  ( $lin1\_MD2 \sim N(S[j], Tau)$ ). A média do processo  $S[j]$ , é explicada por um modelo de regressão definida como a média da Região Não Alterada (RNA)  $\beta_0$  somada ao produto da média da Região Alterada  $\beta_1$  com a covariável  $cov[j]$ , definida anteriormente ( de acordo com a Figura 4.37) mais o efeito espacial dados por  $W[j]$ . Desta forma,  $S[j] \sim \beta_0 + \beta_1 * cov[j] + W[j]$

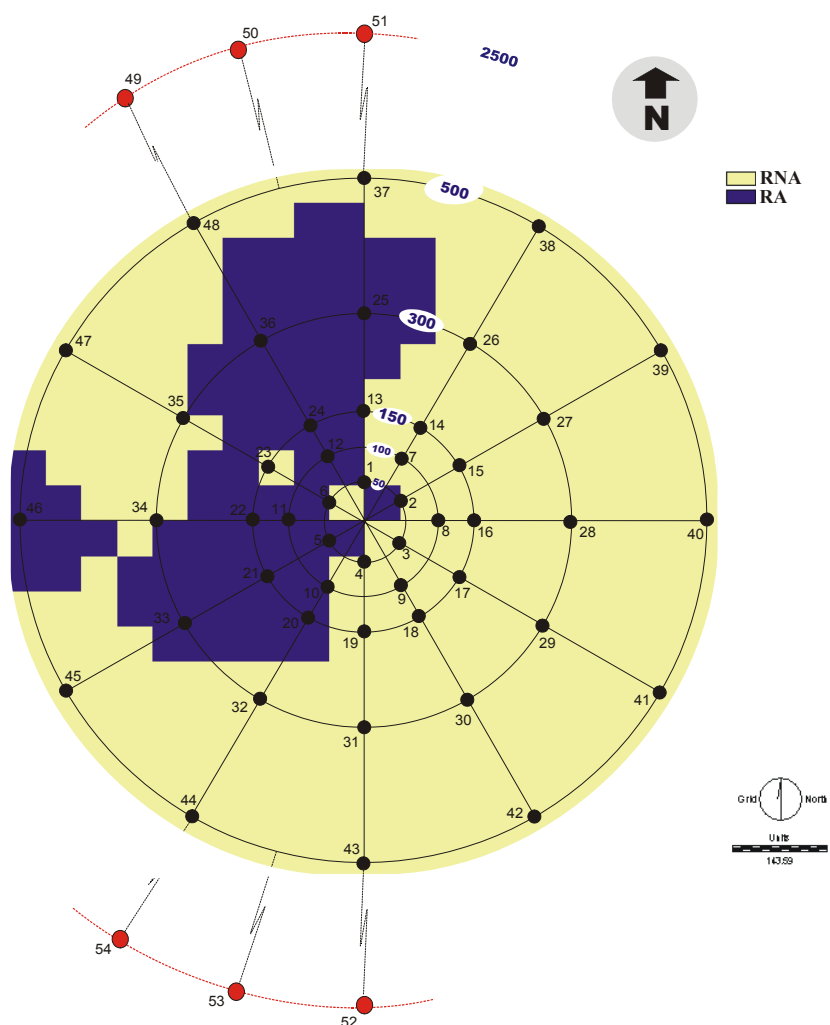


Figura 4.39 - Mapa dicotômico para a fração lineares + UCM C14 a C20  
Mostrando as duas regiões distintas RA e RNA

As estimativas produzidas para os parâmetros do modelo são apresentadas a seguir.

Tabela 4.16 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta zero ( $\beta_0$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Beta zero	0.581	0.3669	0.0240	-0.3795	0.6115	1.203	7000

A mediana para Beta zero  $B_0$  foi estimada em 0.6115 com um intervalo com 95% de credibilidade variando de -0.3975 a 1.203. Este resultado vai de encontro à restrição de que a mediana da Região Não Alterada (RNA) (Fig. 4.37, área amarela) deve ser menor que 1.621 ppm.

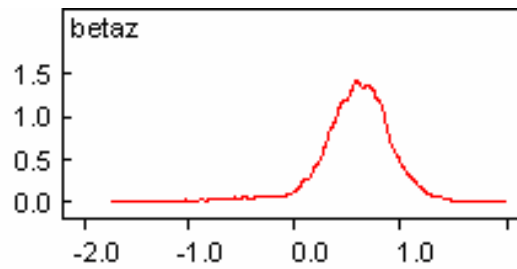


Figura 4.40 – Densidade a posteriori do parâmetro Beta zero ( $\beta_0$ ).

Tabela 4.17 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta um ( $\beta_1$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostra
Beta um	6.415	0.5123	0.0103	5.403	6.422	7.402	7000

A mediana predita para Beta 1 ( $\beta_1$ ) é 6.422 ppm com um intervalo de credibilidade variando de 5.403 a 7.402 ppm. Todas as densidades a posteriori para o efeito espacial  $W[j]$  registraram a mediana centrada em torno do valor zero(0). Desta forma, não há efeito espacial significativo, tendo sido observado somente efeito de média. Este resultado remete para o fato de que as diferentes regiões da Figura 4.37 podem ser analisadas como realizações de processos estocásticos estacionários distintos. A Região RNA, oscila em torno da mediana predita por ( $\beta_0$ ) e a região RA oscilando em torno da mediana predita por ( $\beta_1$ ).

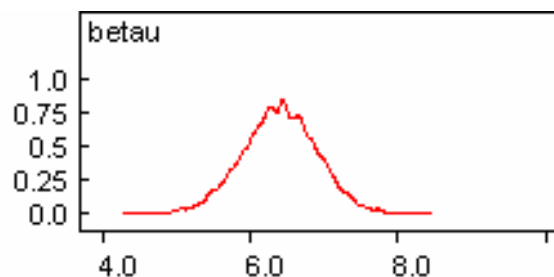


Figura 4.41 – Densidade a posteriori do parâmetro Beta um ( $\beta_1$ ).

Tabela 4.18 - Medidas de tendência central e variabilidade para a diferença a Posteriori dos parâmetro Beta um ( $\beta_1$ ) - Beta zero ( $\beta_0$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
dif	5.818	0.9101	0.0248	4.055	5.797	7.809	6000

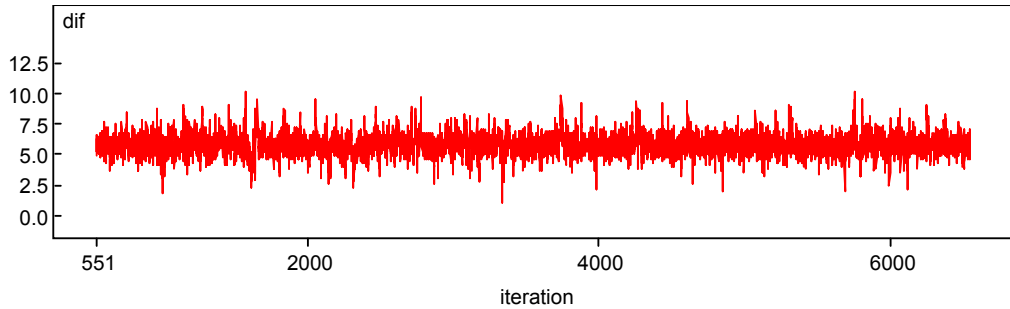


Figura 4.42 - Série histórica da cadeia amostrada da diferença dos parâmetros ( $\beta_1$ ) e ( $\beta_0$ ).

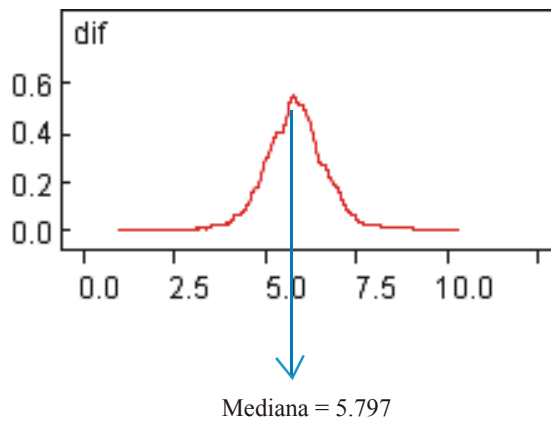


Figura 4.43 - Densidade a posteriori da diferença dos parâmetros ( $\beta_1$ ) e ( $\beta_0$ ).

A mediana da distribuição a posteriori da diferença dos parâmetros ( $\beta_1$ ) e ( $\beta_0$ ) é 5.797 ppm. O intervalo para a mediana varia de 4.055 ppm a 7.809 ppm. Este resultado permite afirmarmos que as médias diferem entre si com 95% de credibilidade.



#### 4.2 – TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) na segunda operação de amostragem – MD2.

Devido a forte correlação, a variável TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) pode ser modelada utilizando a covariável definida a partir da a fração lineares + UCM C14 a C20. O modelo empregado segue a estrutura abaixo

$$\begin{aligned}
 TPH\_MD2 &\sim N(S[i], \tau) \\
 S[i] &= \beta_0 + B_1 * cov[i] + W[i] \\
 W[i] &\sim (\mu, s[i], \tau, \phi, \kappa) \\
 \beta_0 &\sim flat \\
 \beta_1 &\sim flat \\
 \tau &\sim Gamma(0.001, 0.001) \\
 \phi &\sim Unif(0.005, 0.1) \\
 \kappa &\sim Unif(0.05, 1.95)
 \end{aligned}$$

Os parâmetros estimados pelo modelo são descritos a seguir.

Tabela 4.19 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta_0$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostra
Beta zero	1.671	0.3991	0.0263	0.9171	1.648	2.58	4500

A mediana a posteriori para ( $\beta_0$ ) é 1.648 ppm com um intervalo de 95% de credibilidade variando entre 0.971 ppm e 2.58 ppm.

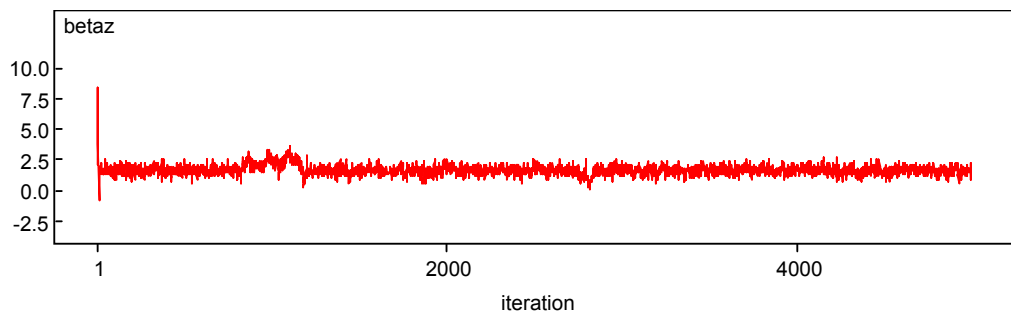


Figura 4.44 - Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta zero ( $\beta_0$ ).

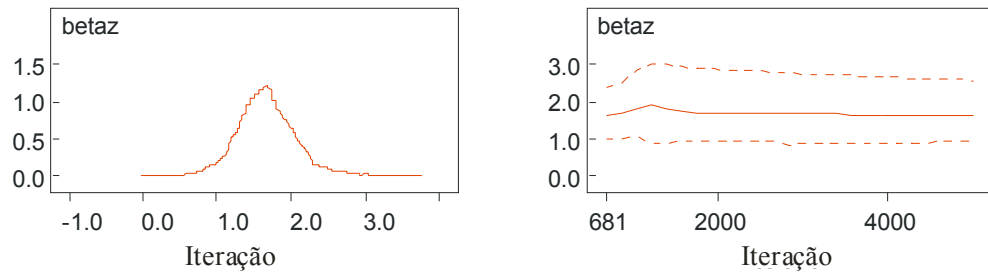


Figura 4.45 – Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Beta zero ( $\beta_0$ ).

Tabela 4.20 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta 1 ( $\beta_1$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Beta um	6.523	0.5996	0.0145	5.353	6.523	7.71	4500

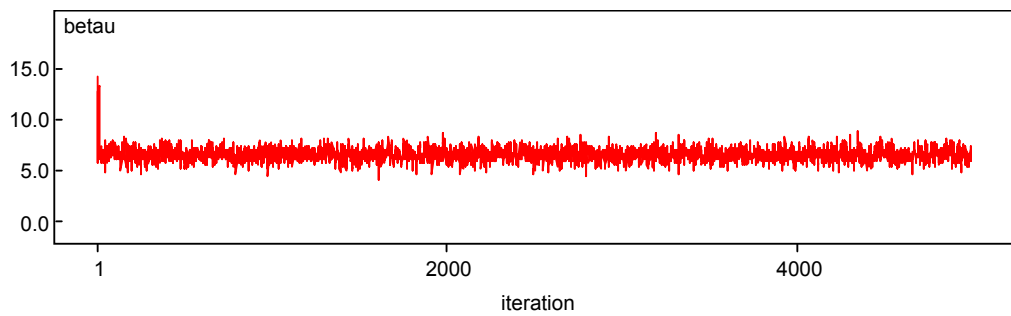


Figura 4.46 - Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta um ( $\beta_1$ ).

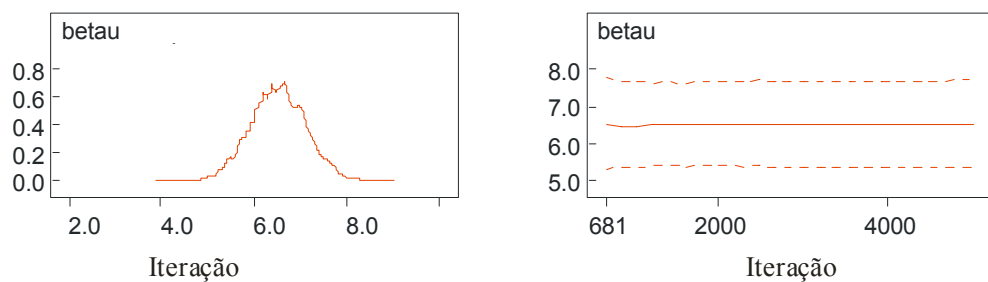


Figura 4.47 – Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Beta um ( $\beta_1$ ).

Tabela 4.21 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Kappa ( $k$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostra
kappa	1.254	0.4922	0.0417	0.1104	1.337	1.918	4500

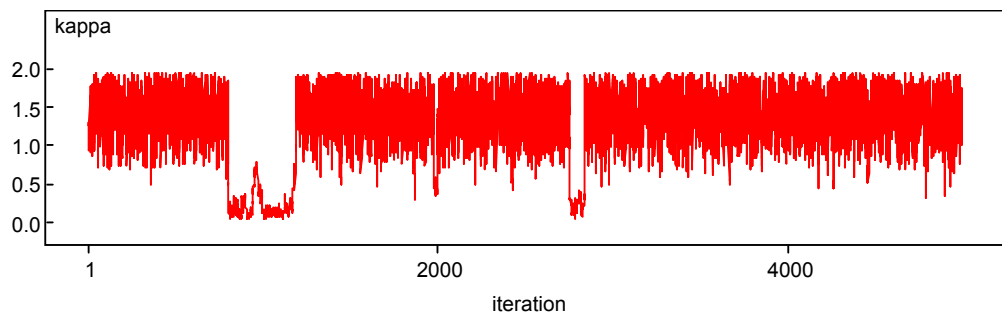


Figura 4.48 - Série histórica da cadeia para o parâmetro Kappa ( $k$ ).

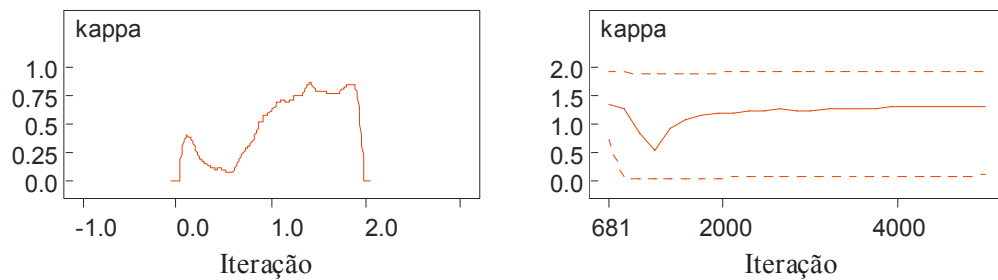


Figura 4.49 – Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Kappa ( $k$ ).

Tabela 4.22 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostra
phi	0.05481	0.02769	0.001027	0.005449	0.05687	0.09811	4500

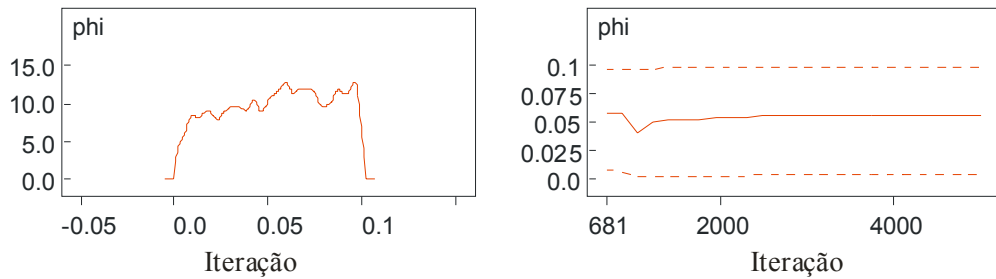


Figura 4.50 – Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Phi ( $\phi$ ).

Tabela 4.23 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro ( $1/\phi$ ) ( $1/\phi$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostra
Phi.inv	38.06	88.43	5.168	10.19	17.59	183.5	4500

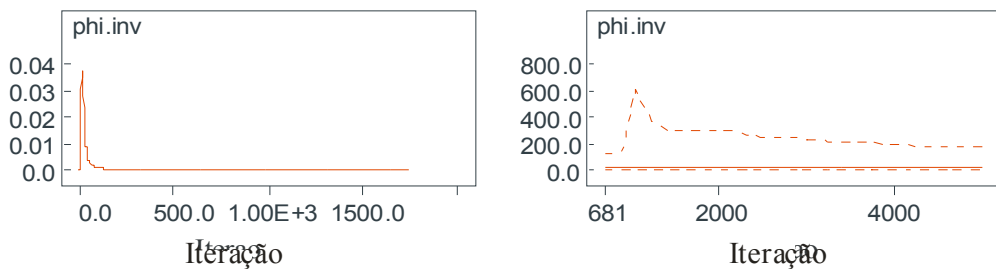


Figura 4.51 - Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Phi ( $\phi$ ).

A forma da densidade a posteriori para o parâmetro Phi (Fig 4.48) indica que a informação da verossimilhança não alterou de forma significativa a informação a priori ( $\phi \sim Uniforme(0.0005, 0.1)$ ). A amplitude de dependência espacial apontada pelo inverso do parâmetro Phi ( $1/\phi$ ) teve a mediana estimada em 17.59 com um intervalo de credibilidade variando entre 10.19 e 183.53 (tabela 4.23), revelando uma dependência espacial de intensidade “pequena”.

Tabela 4.24 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ).

Parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostra
Tau	0.5861	0.151	0.0101	0.2887	0.5855	0.8948	4500

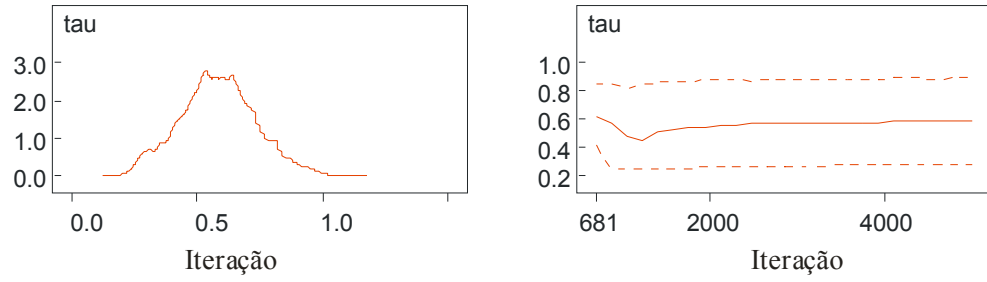


Figura 4.52 – Distribuição de probabilidade amostral e o intervalo com 95% de credibilidade para o parâmetro Tau ( $\tau$ ).

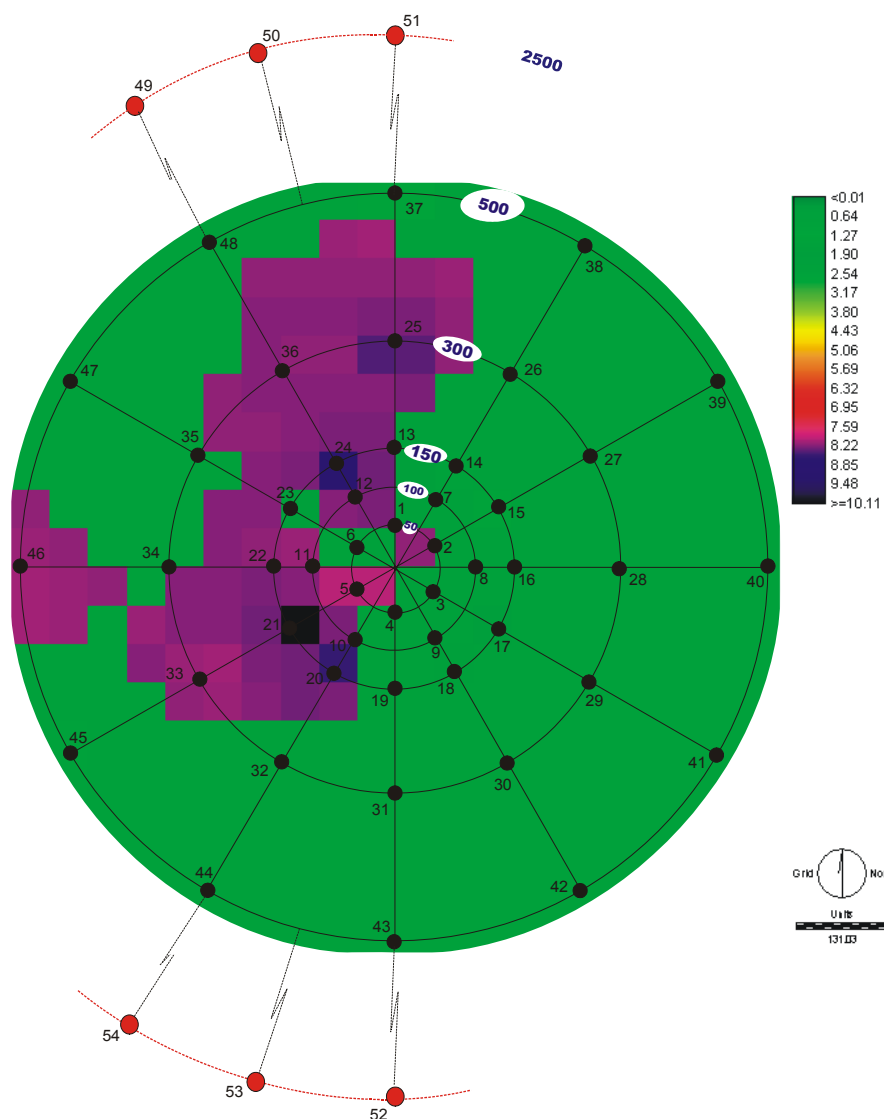


Figura 4.53 Distribuição espacial da variável TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) (Anexo 8) após a atividade de perfuração (MD2) predita a partir do modelo descrito no Capítulo 3.3.2.

Tabela 4.25 - Medidas de tendência central e variabilidade da diferença  $\beta_1 - \beta_0$  estimada a partir modelo aplicado a variável TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Dif. Betas	4.869	1.102	0.03555	2.657	4.864	7.112	4984

A Tabela 4.25 descreve as medidas de tendência central e de variabilidade para a posteriori da diferença dada por  $\beta_1 - \beta_0$ . A mediana foi estimada em 4.864 ppm com um intervalo de 95% de credibilidade variando entre 2.657 ppm e 7.112 ppm. Assim existe uma probabilidade = 0.95 de que o verdadeiro valor da diferença entre as médias esteja dentro deste intervalo. Desta forma é possível afirmar com 95% de credibilidade, que existe diferença significativa entre as médias da região indicada pela tonalidade de azul escuro (Fig. 4.51) e a região marcada pela predominância da cor verde (Fig.4.51).

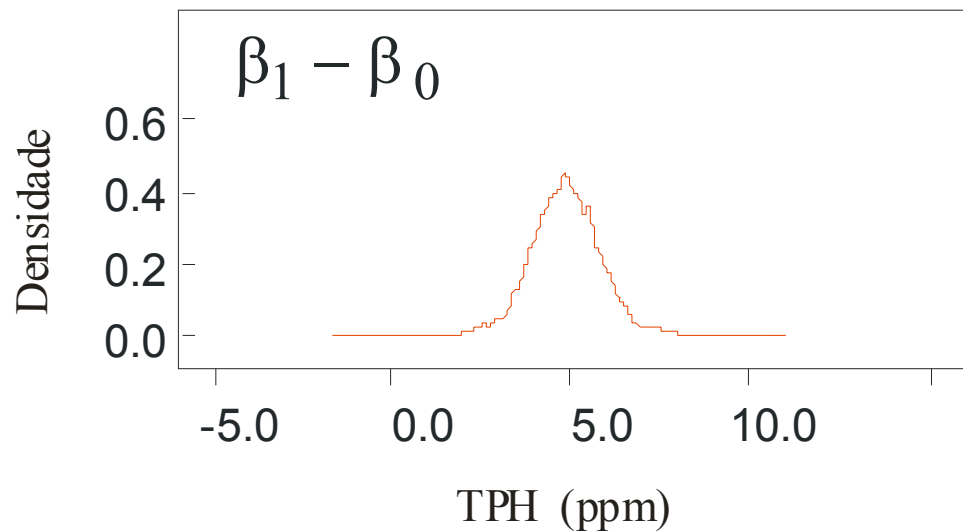


Figura 4.54 - Distribuição a posteriori da diferença  $\beta_1 - \beta_0$  predita a partir do modelo descrito no Capítulo 3.3.2. variável TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) após a atividade de perfuração (MD2).

A mediana predita para Beta um  $B_1$  é 6.523 ppm com um intervalo de credibilidade variando de 5.353 a 7.71 ppm. Todos os densidades a posteriori para o efeito espacial  $W[j]$  registraram a mediana centrada em torno do valor zero(0). Assim não há efeito espacial significativo, tendo sido observado somente efeito de média. Este resultado remete para o fato de que as diferentes regiões da Figura 4.51 podem ser analisadas como realizações de processos estocásticos estacionários distintos. A Regia RNA, oscilando em

torno da mediana predita por ( $\beta_0 = 1.648$ ) e a região RA oscilando em torno da mediana predita por ( $\beta_1 = 6.523$ ).

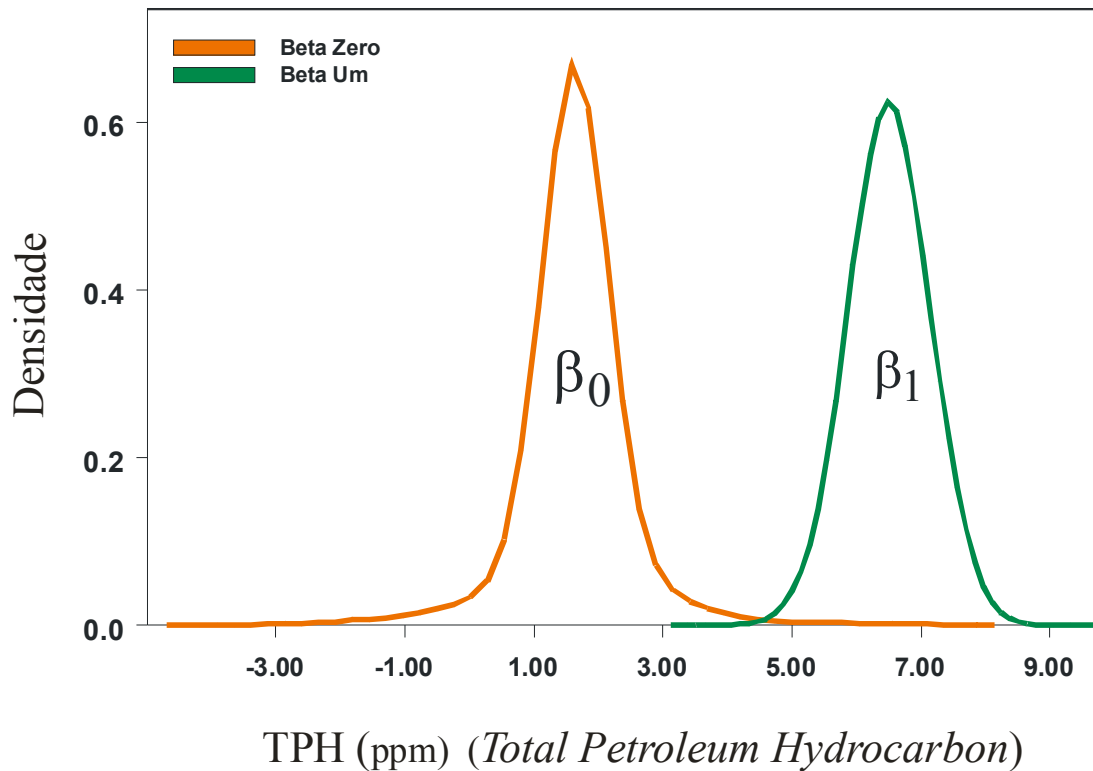


Figura 4.55 - Distribuição a posteriori dos parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  preditas a partir do modelo descrito no Capítulo 3.3.2.

Variável TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) após a atividade de perfuração (MD2).

A tabela 4.26 compara os resultados obtidos na classificação das estações amostrais nos diferentes grupos de acordo com critérios definidos no Capítulo 3 (Tabelas 3.5 e 3.5) e Capítulo 4, itens 4.1 e 4.2. Ambos os critérios classificaram 12 estações amostrais no Grupo RA (Região Alterada). A diferença nos resultados acontece pontualmente sobre duas estações amostrais. A estação número 11 é classificada no grupo RA pelo método Geoestatístico. Este resultado não encontra respaldo na abordagem proposta no Capítulo 3. A diferença pode ser atribuída em parte à pequena resolução da malha predita. Ressalta-se, no entanto, que o método proposto no Capítulo três (3) não leva em conta a estrutura espacial dos dados observados. A segunda diferença no resultado acontece na estação



amostral número 37. Intuitivamente esta estação amostral poderia estar classificada na região RA (Região Alterada). A não classificação na região RA (Fig 4.57, região azul escuro) é devida ao erro de predição do modelo espacial. O problema é similar ao descrito na Figura 4.35, que acarreta uma variabilidade maior aos pontos mais afastado do centro do poço. A variabilidade maior da distribuição a posteriori para a estação amostral número 37 impediu a inserção no grupo RA com uma probabilidade maior ou igual a 0.77.

Tabela 4.26 Classificação das estações amostrais de acordo com a variável TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) de acordo com os critério do Capítulo 3 e critérios adotados no Capítulo 4

Número da estação amostral	Tabela 3.4	Figura 4.51
2	X	X
5	X	X
11	Ausente	X
12	X	X
20	X	X
21	X	X
22	X	X
24	X	X
25	X	X
33	X	X
36	X	X
37	X	Ausente
46	X	X

### 4.3 – Análise do Bário (Ba) ppm

A distribuição dos sólidos originários do fluido de perfuração identificada a partir das imagens do sonar de varredura lateral e das fotos dos *Boxcore* foi posteriormente, confirmada pelas mudanças nas concentrações de Ba (ppm). Especialmente localizadas, a deposição ocorreu predominantemente nas direções sudoeste e norte da plataforma de exploração.

As análises da variável Bário (Ba) auxiliam desta forma, na definição da região que apresentou alterações físicas no sedimento. O Bário (Ba) se encontra diretamente associado ao uso da lama de perfuração, não sendo biodisponível na forma medida.

Sendo assim, o interesse particular em identificar a região ou regiões, é voltado para as análises posteriores sobre as respostas das comunidades betônicas em regiões possivelmente alteradas em suas características físicas naturais.

#### 4.3.1 – Análise do Bário (Ba) ppm durante a primeira operação de amostragem - MD1.

As prioris atribuídas aos parâmetros do modelo aplicado à variável Bário (Ba ppm) antes da atividade de perfuração, isto é, na primeira operação de amostragem (MD1) são descritas abaixo. Analogamente ao modelo proposto para a variável Fração Lineares + UCM C14 a C20, as prioris atribuídas são pouco informativas, restringido-se à componente espacial, como amplitude para o parâmetro Phi  $\phi$ . Mesmo atribuindo uma priori Uniforme para Phi, o intervalo proposto limita a variação à priori entre 10 metros a 2000 metros com igual probabilidade.

$$\beta \sim dflat$$

$$\tau \sim \text{Gamma}(0.001, 0.001)$$

$$\sigma^2 = 1/\tau$$

$$\phi \sim \text{Uniforme}(0.0005, 0.1)$$

$$\phi.inv = 1/\phi$$

$$\kappa \sim \text{Uniforme}(0.051, 1.95)$$

Os resultados da Simulação de Monte Carlo via Cadeias de Markov para estimar as distribuições a posteriori dos parâmetros do modelo proposto são discutidos a seguir.

Tabela 4.27 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5 %	amostra
beta	212.3	102.3	1.092	27.37	209.0	410.6	7988

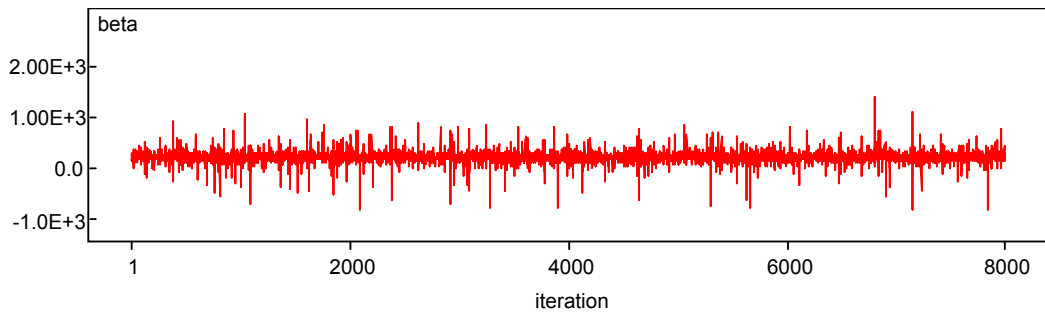


Figura 4.56 - Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta ( $\beta$ ).

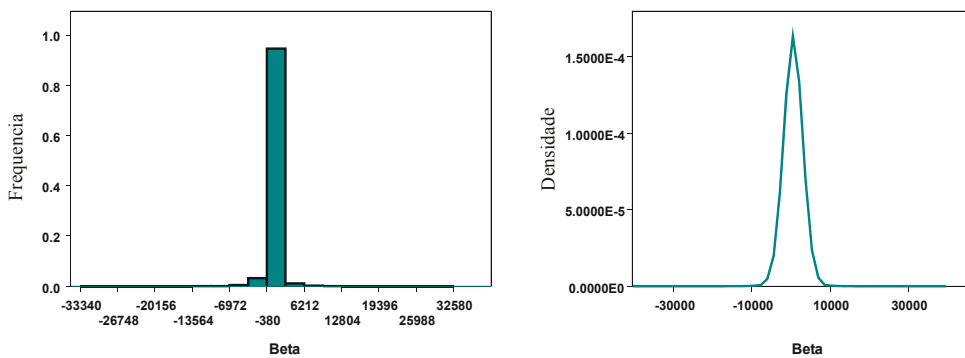


Figura 4.57 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

O parâmetro Beta refere-se à medida de tendência central do processo estocástico. A mediana para Beta foi estimada em 209 ppm com um intervalo de credibilidade com 95% variando de 27.37 a 410.60 ppm.

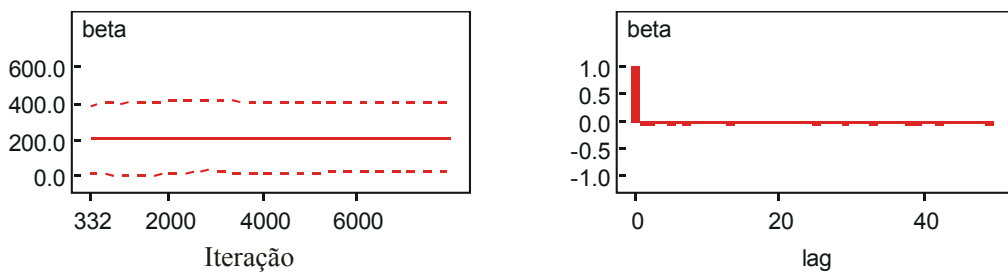


Figura 4.58 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

A função de autocorrelação mostra uma correlação forte somente nos primeiros lags. A retirada de sub-amostras a partir do total de amostras simuladas, minimizou o problema detectado anteriormente que apontava uma autocorrelação forte até o lag 40.

Tabela 4.28 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	Mediana	97.5%	amostras
Phi	0.0478	0.0280	0.0004	0.0035	0.0465	0.0968	7988

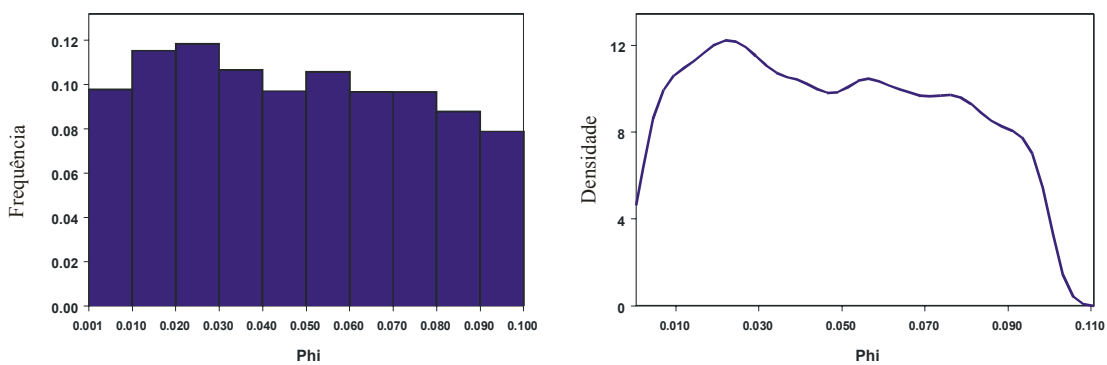


Figura 4.59 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Phi ( $\phi$ ).

A priori, o parâmetro ( $\phi$ ) segue uma distribuição Uniforme (0.0005,0.1) ( $phi \sim Uniforme(0.0005, 0.1)$ ). A distribuição de probabilidade a posteriori para o parâmetro Phi ( $\phi$ ) (Fig. 4.57) é distribuída semelhantemente à densidade formulada a priori. A análise do parâmetro dado pelo inverso de Phi ( $1/phi$ ) combinada com a informação a posteriori sobre Phi pode revelar informação a respeito da estrutura de dependência da variável Ba na primeira operação de amostragem (MD1).

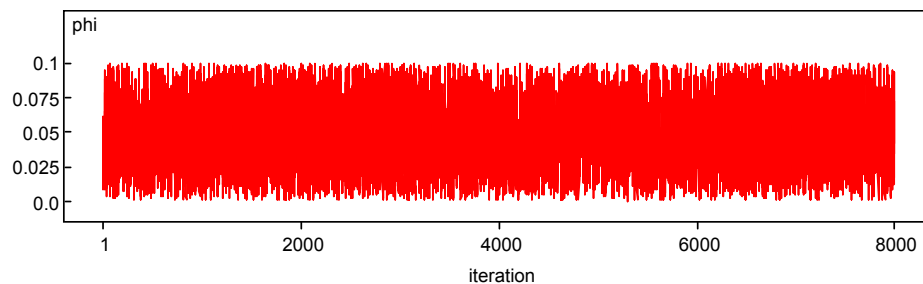


Figura 4.60 - Série histórica da cadeia para o parâmetro Phi ( $\phi$ ).

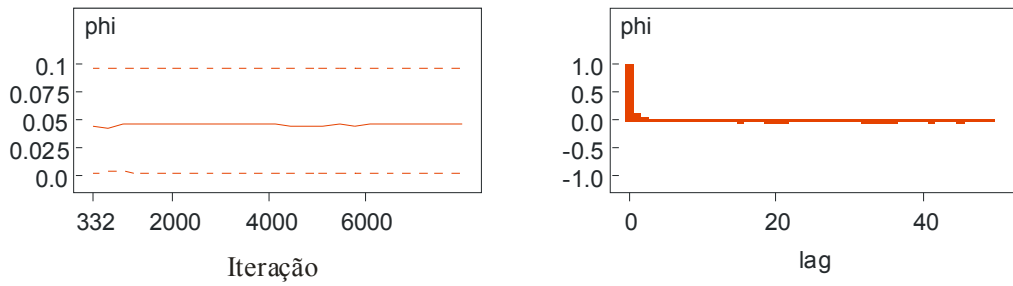


Figura 4.61 – Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro  $\Phi(\theta)$ .

Tabela 4.29 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro  $(1/\phi)$  ( $1/\phi$ ).

parâmetro	Média	DP	MC erro	2.5%	Mediana	97.5%	amostras
Phi.inv	51.81	118.9	1.784	10.33	21.51	288.5	7988

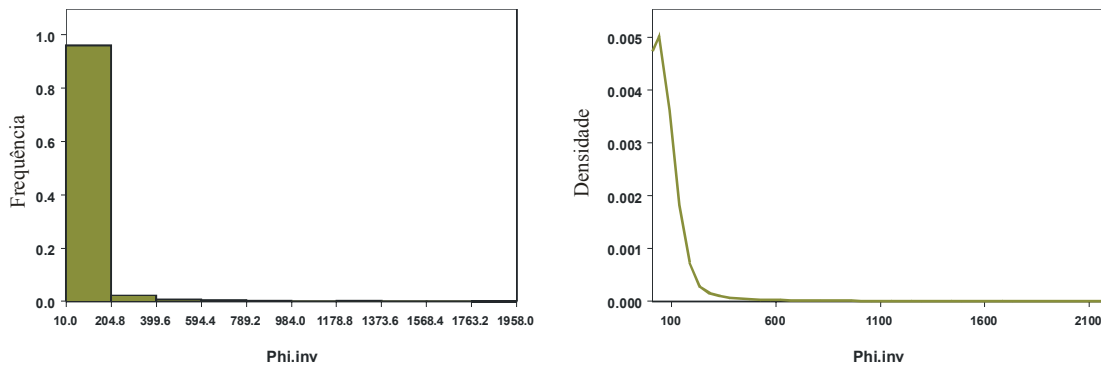


Figura 4.62– Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do inverso do parâmetro  $\Phi(1/\phi)$ .

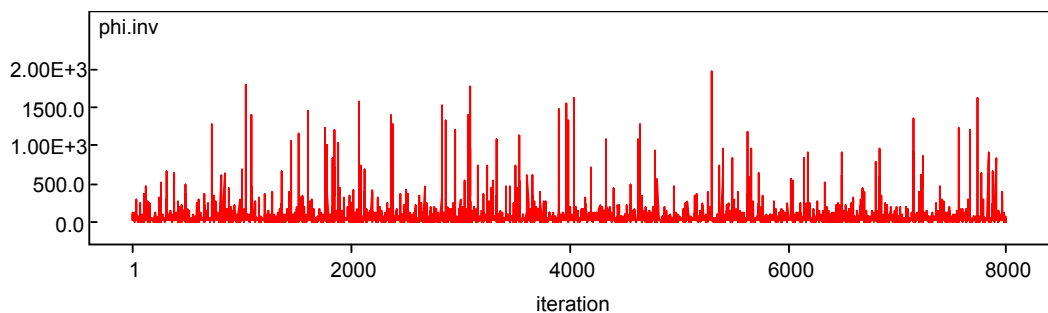


Figura 4.63 - Série histórica da cadeia para o inverso do  $\Phi(1/\phi)$ .

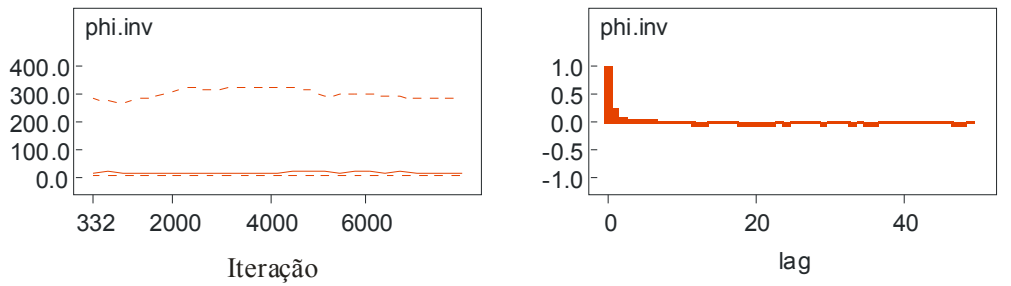


Figura 4.64 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do inverso do parâmetro Phi ( $1/\phi$ ).

Tabela 4.30 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro  $Tau$  ( $\tau$ ).

parâmetro	Média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Tau	0.0003	0.0002	3.226E-6	1.309E-5	0.0003	0.0009	7988

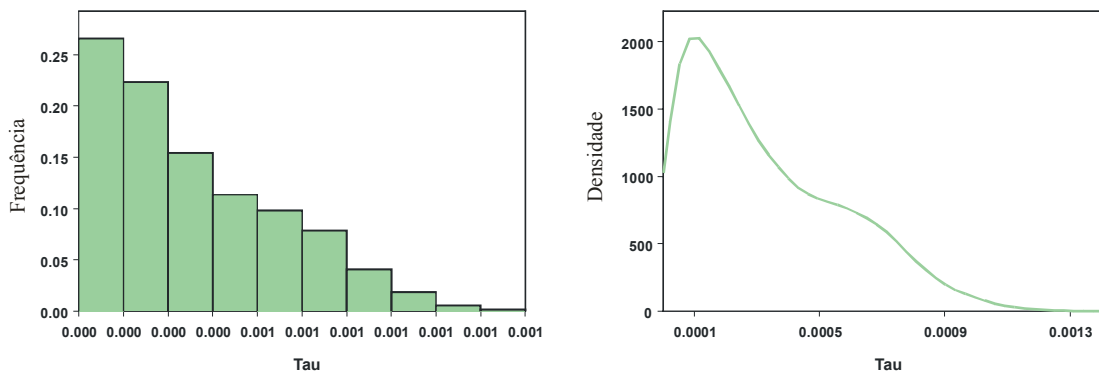


Figura 4.65 – Histograma e a distribuição de probabilidade do parâmetro  $Tau$  ( $\tau$ ).

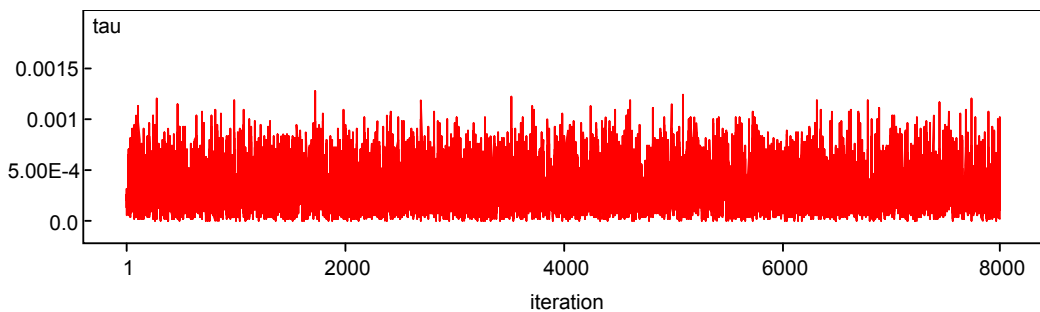


Figura 4.66 - Série histórica da cadeia para o parâmetro  $Tau$ . ( $\tau$ ).

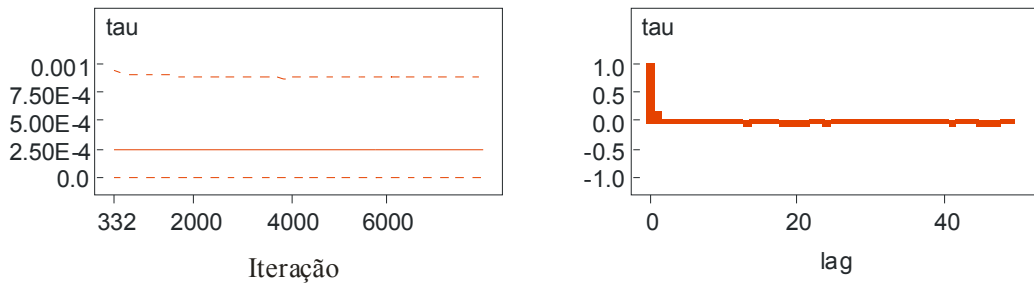


Figura 4.67 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) e do parâmetro Tau ( $\tau$ ).

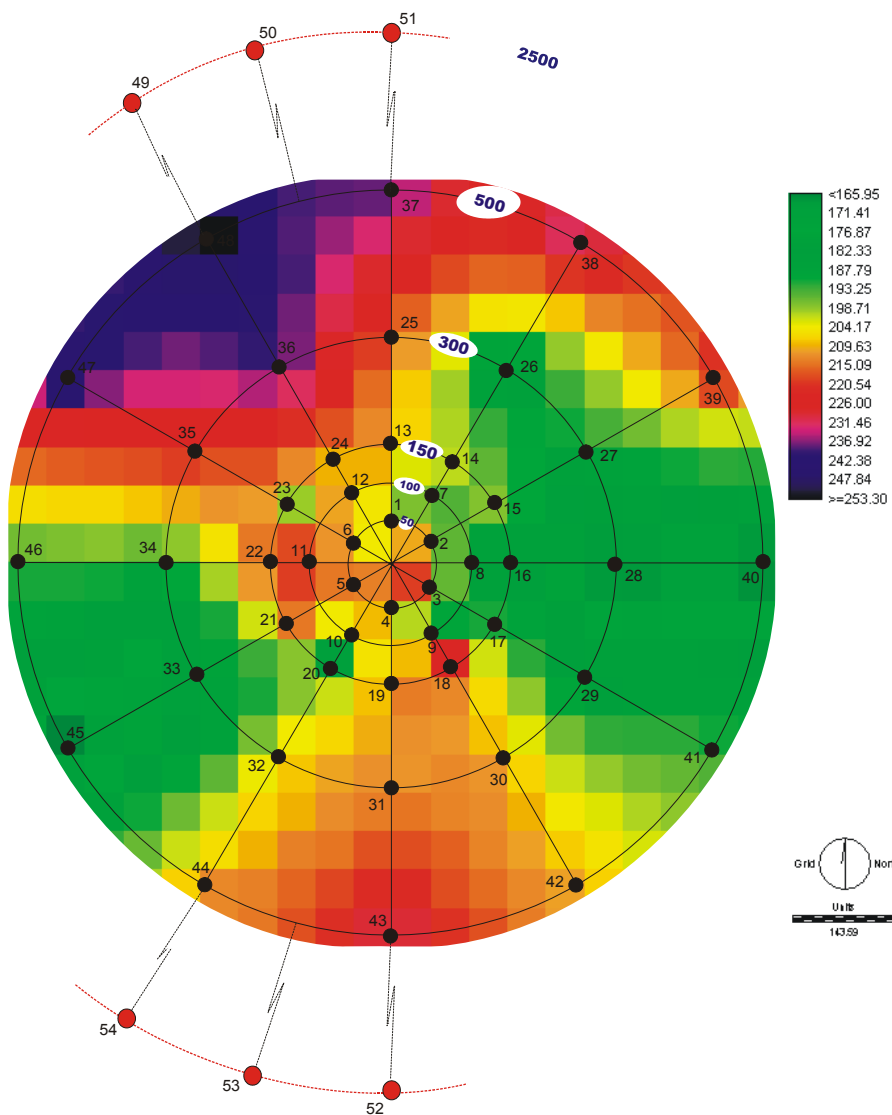


Figura 4.68 - Distribuição espacial da variável Bário (Ba ppm) após a atividade de perfuração (MD2).

#### 4.3.2 – Análise do Bário (Ba) ppm durante a segunda operação de amostragem – MD2.

Análises exploratórias aplicadas à variável Bário (Ba ppm), observada na segunda operação de amostragem (MD2) apontaram fortes evidências de quebra de suposição sobre estacionariedade do processo estocástico. Através da Krigagem, as figuras 3.10 e 3.11 foram produzidas por um modelo estimado através de métodos de inferência clássica.

Naquele momento, apesar da dificuldade de especificar um variograma amostral satisfatório, pouca preocupação foi dispensada às suposições iniciais do modelo dado que o objetivo principal era somente a análise exploratória do comportamento espacial da variável em foco. As suposições discutidas no Capítulo 2.2.2 são intrínsecas ao modelo, independente do método de estimação de parâmetros e previsão para locais não observados, seja ele Bayesiano ou Clássico. Neste sentido, alguns modelos foram submetidos à simulação de Monte Carlo via Cadeia de Markov com o objetivo de estimar os parâmetros do modelo espacial especificado. Entre eles, citam-se dois (2) modelos.

A diferença entre a estimação por métodos Bayesianos reside no fato de que os resultados incluem a incerteza a respeito do valor do parâmetro desconhecido. Um primeiro Modelo permite que a média varie ao longo da superfície, caracterizando-se desta forma pela não estacionariedade. O segundo Modelo não permite a variação da média, tendo assim a característica de ser, por suposição, estacionário. A estrutura do primeiro modelo testado considerou que os dados observados seguem distribuição Normal com média  $S[i]$  e precisão  $\tau$  ( $Ba\_md2 \sim N(S[i], \tau)$ ). Para  $i = 1, \dots, N$ , onde  $N$  é o número de observações, a média dos dados observados na localização  $S[i]$  para este modelo é definida por uma média  $\beta[i]$  adicionada ao efeito espacial  $W[i]$ , então  $S[i] = \beta[i] + W[i]$ . A priori foram definidas pelas mesmas razões anteriores, da mesma forma que em 3.3.31.

No entanto, o primeiro modelo testado não resultou em resultados confiáveis. As cadeias não apresentaram sinais de convergência. O processo retirando sub-amostras com um lag=60 minimizou a autocorrelação existente. No entanto, após atingir um total de seiscentas mil amostras geradas (600.000) extraindo-se assim, dez mil (10.000) sub-amostras, confirmou-se, através de fortes evidências, a não possibilidade de convergência.



O excessivo número de parâmetros a serem estimados, pode ser uma das prováveis causas dos resultados obtidos.

O segundo modelo, já conhecido e aplicado a outras variáveis, supõe estacionariedade do processo. Na impossibilidade de atender perfeitamente as suposições intrínsecas ao modelo foram testadas formas alternativas para trabalhar com o problema existente. Assim, duas estimações dos parâmetros foram produzidas, utilizando-se o método de inferência Bayesiana. Uma manteve todos os valores observados (Fig. 3.104) e uma segunda tentativa (Fig. 3.105) exclui os valores *outliers* ( $Ba\_md2 > 1200\text{ ppm}$ ) observados durante a segunda operação de amostragem (MD2). A estrutura dos dados mantendo todos os valores resultou em um melhor ajuste da componente espacial do modelo, o que faz sentido na medida que entendemos a estrutura de covariância espacial como alicerce para estimação de parâmetros.

Os parâmetros do modelo são descritos a seguir.

Tabela 4.31 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
beta	544.1	1188.0	13.8	-998.0	555.0	2059.0	7988

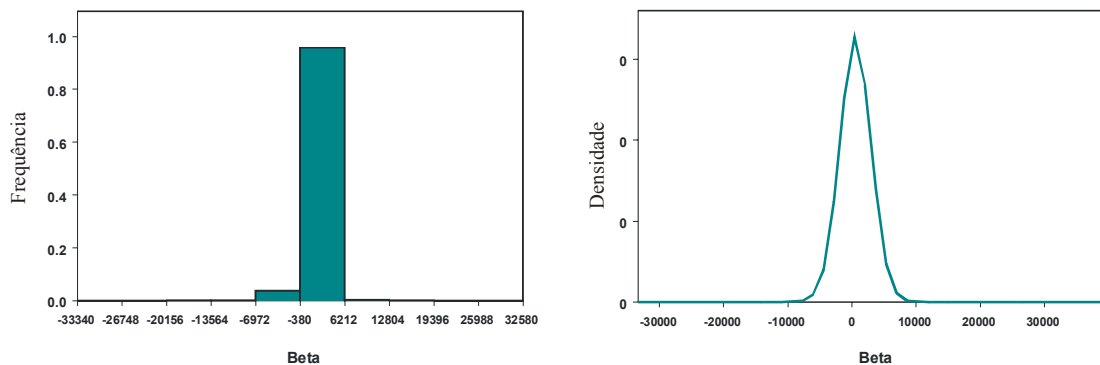


Figura 4.69 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

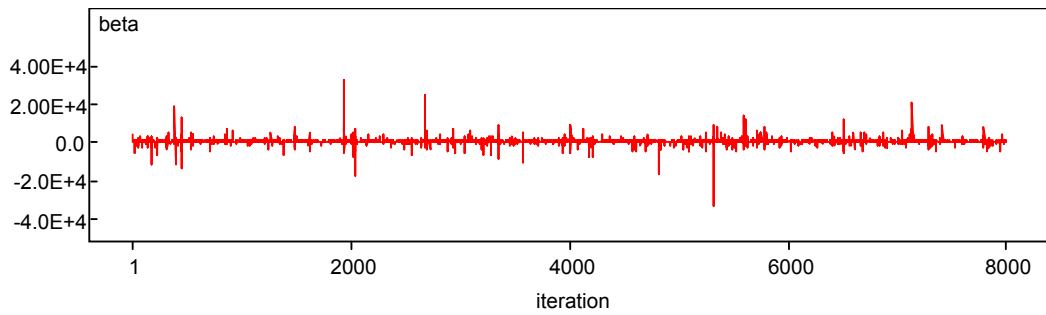


Figura 4.70 - Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta. ( $\beta$ ).

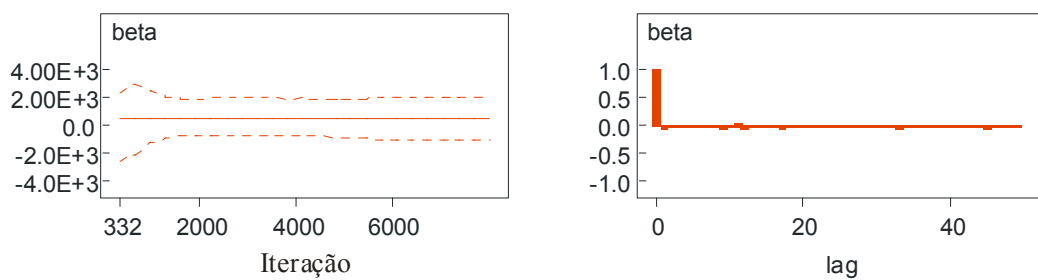


Figura 4.71 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) do parâmetro Beta ( $\beta$ ).

Tabela 4.32 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Kappa ( $k$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Kappa	0.8455	0.347	0.0053	0.142	0.8302	1.62	7983

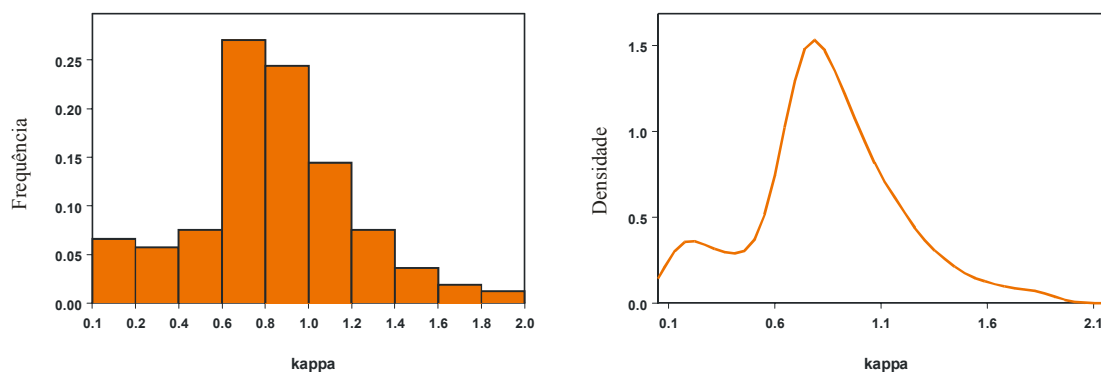


Figura 4.72 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Kappa ( $k$ ).

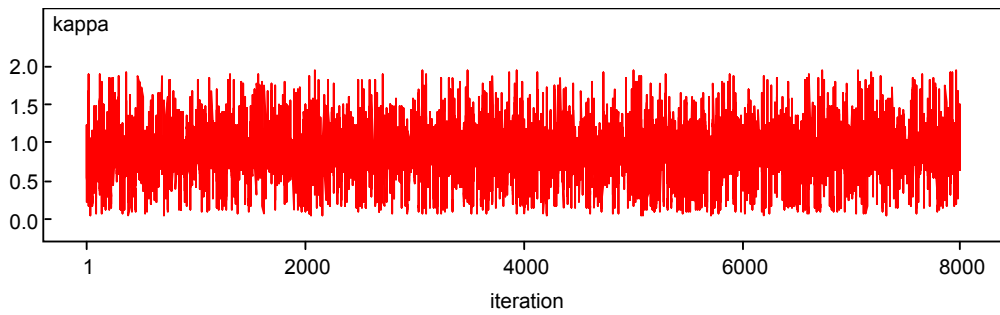


Figura 4.73 - Série histórica da cadeia para o parâmetro Beta. ( $\beta$ ).

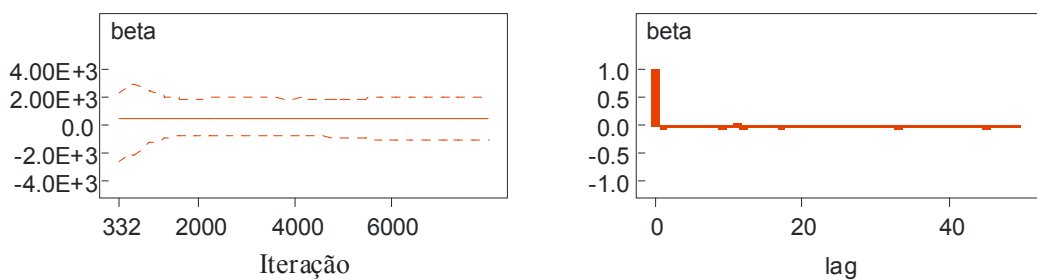


Figura 4.74 – Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Kappa ( $k$ ).

Tabela 3.33 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro Phi ( $\phi$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	Mediana	97.5%	amostras
Phi	0.0450	0.0286	2.933E-4	0.0025	0.0426	0.0966	7988

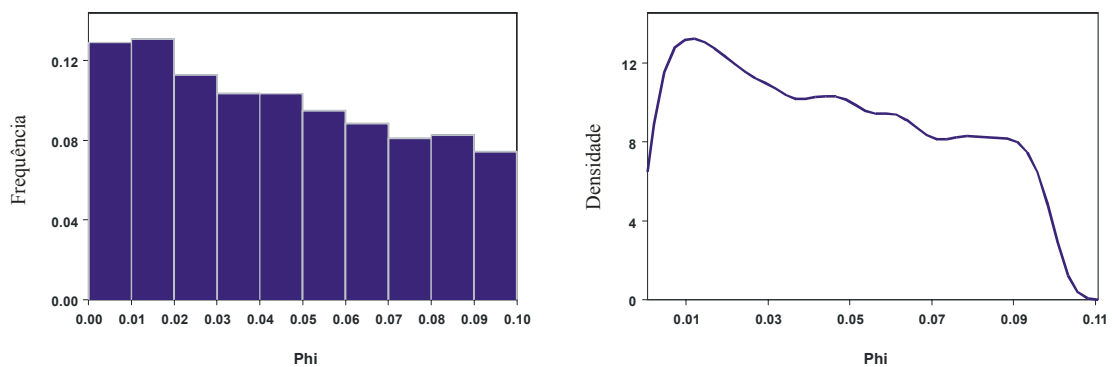


Figura 4.75 – Histograma e a distribuição de probabilidade amostral do parâmetro Phi ( $\phi$ ).

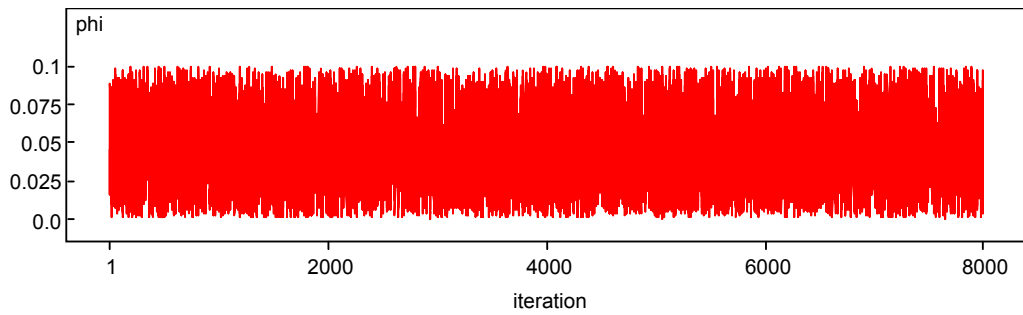


Figura 4.76 - Série histórica da cadeia para o parâmetro Phi ( $\phi$ ).

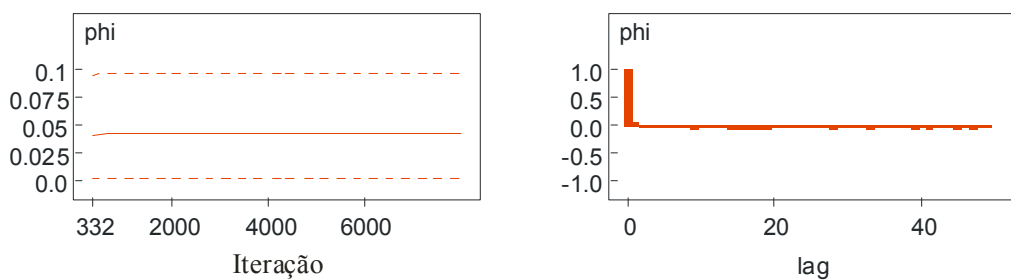


Figura 4.77 – Intervalo de credibilidade e função de autocorrelação (ACF) do parâmetro Phi ( $\theta$ ).

Tabela 4.34 - Medidas de tendência central e variabilidade do parâmetro *Tau* ( $\tau$ ).

parâmetro	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	amostras
Tau	1.547E-6	6.087E-7	1.044E-8	1.03E-7	1.635E-6	2.548E-6	7988

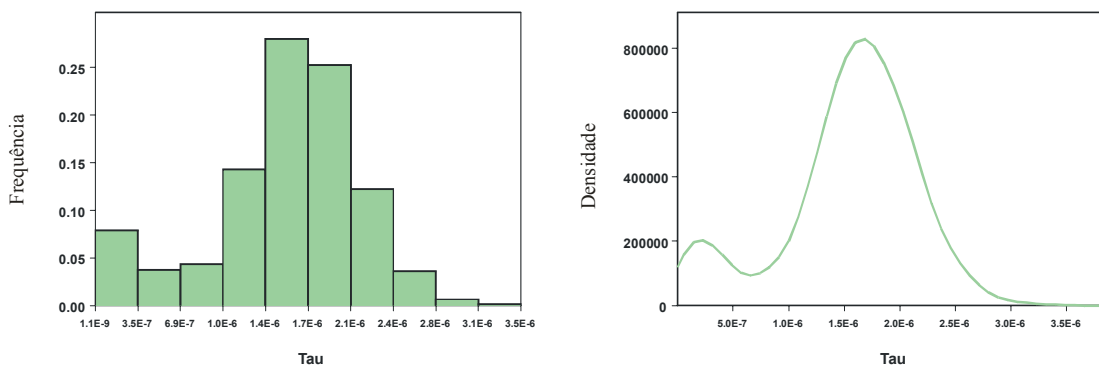


Figura 4.78 – Histograma e a distribuição de probabilidade do parâmetro Tau ( $\tau$ ).

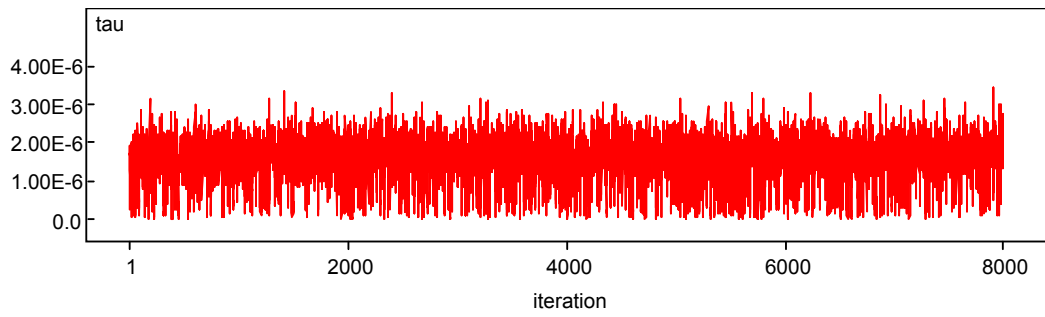


Figura 4.79 - Série histórica da cadeia para o parâmetro Tau. ( $\tau$ ).

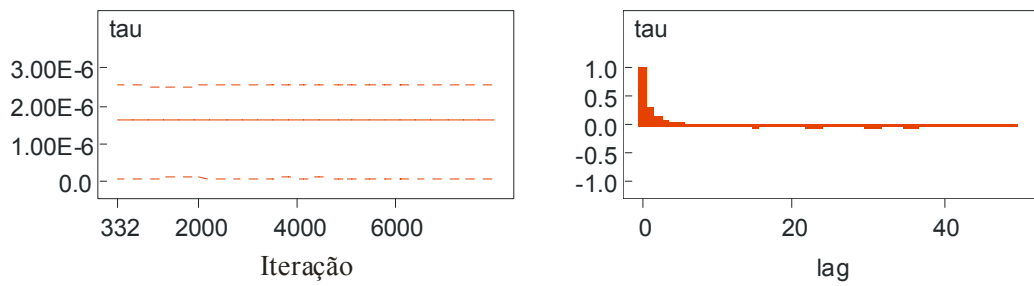


Figura 4.80 – Intervalo de credibilidade e função de auto-correlação (ACF) para o parâmetro Tau ( $\tau$ ).

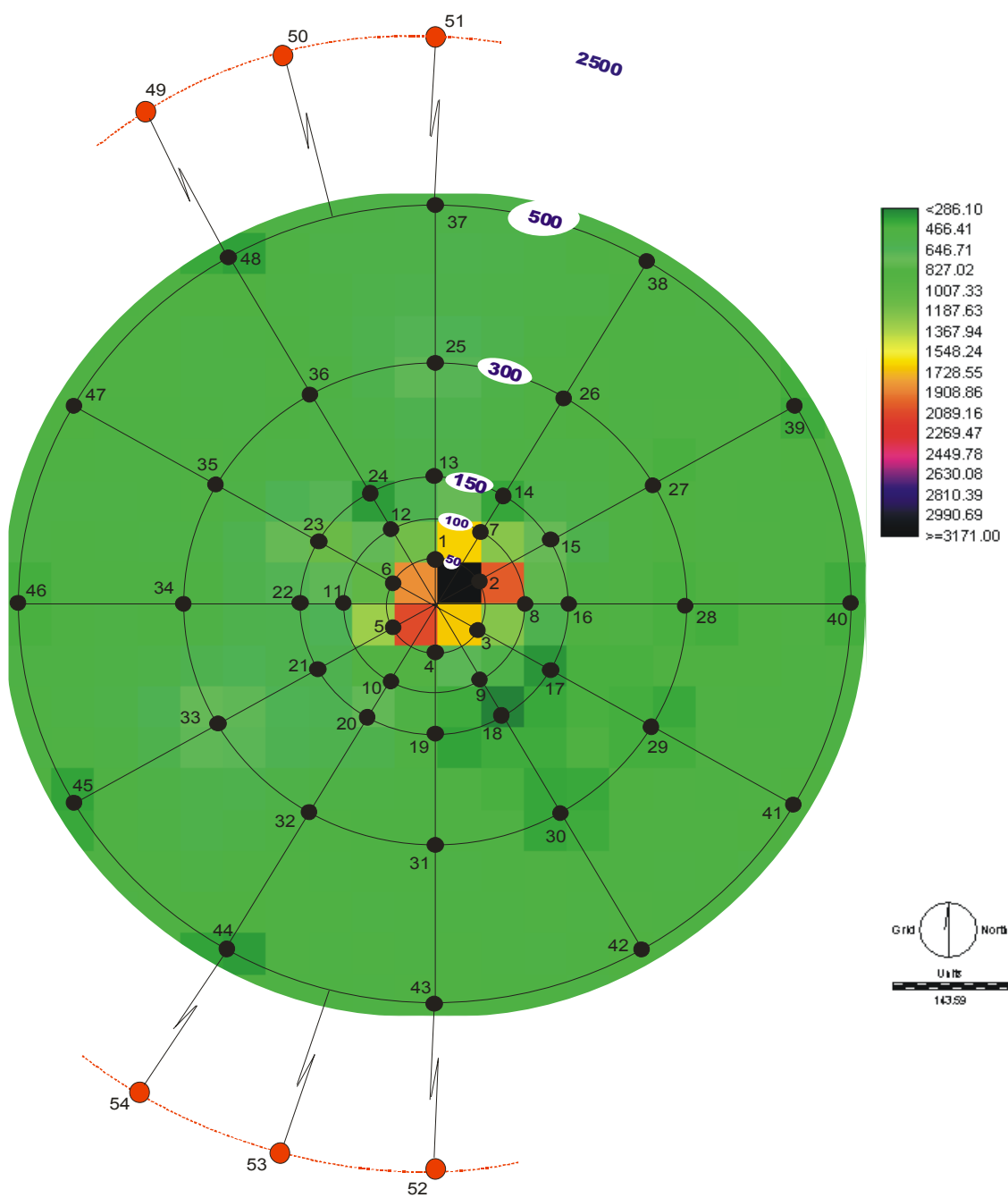


Figura 4.81 Distribuição espacial da variável Bário (Ba ppm) após a atividade de perfuração (MD2),

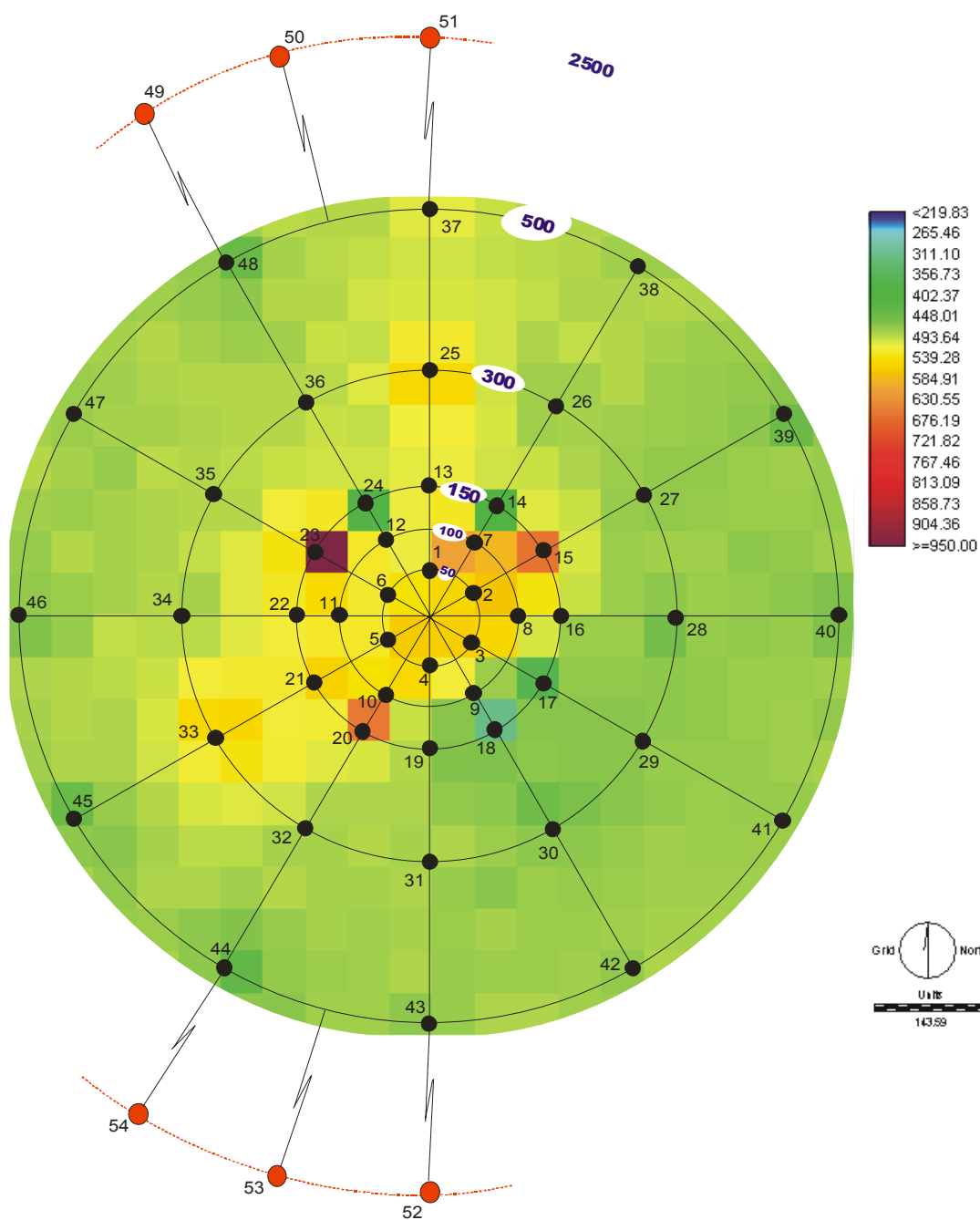


Figura 4.82 - Distribuição espacial da variável Bário (Ba ppm) após a atividade de perfuração (MD2). Figura ilustrativa não usada para classificação das regiões RA e NRA.

Valores atípicos ( $Ba_{md2} > 1200 \text{ ppm}$ ) foram excluídos para estimação dos parâmetros e predição dos locais não observados.

A mediana estimada pelo modelo para a variável Bário (Ba ppm) observada na primeira operação de amostragem (MD1) é 209 ppm. O intervalo com 95% de credibilidade varia entre 27.37 e 410.6 ppm. A mediana estimada para a mesma variável no MD2 aumenta substancialmente, tendo sido estimada em 555 ppm. O intervalo com 95% de credibilidade resultante varia entre -998 ppm e 2059 ppm.

A incerteza a respeito do verdadeiro valor de  $\beta$ , é devida ao aumento significativo das concentrações de Bário, já discutido anteriormente. A ausência de uma covariável, que pudesse ser introduzida no modelo, com o objetivo de auxiliar na estimação e predição, impossibilitou a definição de um terceiro modelo que servisse de alternativa para diminuir a incerteza sobre o parâmetro  $\beta$ . Dentro deste cenário e após inúmeras investigações sobre o comportamento espacial da variável, um critério de corte foi adotado. Os *pixels* onde a medida de tendência central da posteriori foi predita em valores maiores que a mediana estimada para  $\beta$  no MD2 (555 ppm, Tabela 4.31) foram preditos com uma probabilidade mínima igual a 0.5 de serem maiores que 555 ppm. A probabilidade de que os valores preditos para os *pixels* classificados na Região Alterada (Região azul, Fig 4.81) sejam maiores que a mediana estimada para  $\beta$  no MD1 de 209 ppm é próxima de 1 ( $P[X > 209] \approx 1$ ). Desta forma, os *pixels* com uma probabilidade igual ou maior de 0.5 de serem maiores que 555 ppm foram classificados na Região Alterada (RA). Os demais *pixels* preditos foram classificados na Região Não Alterada (RNA) (Fig.4.81).



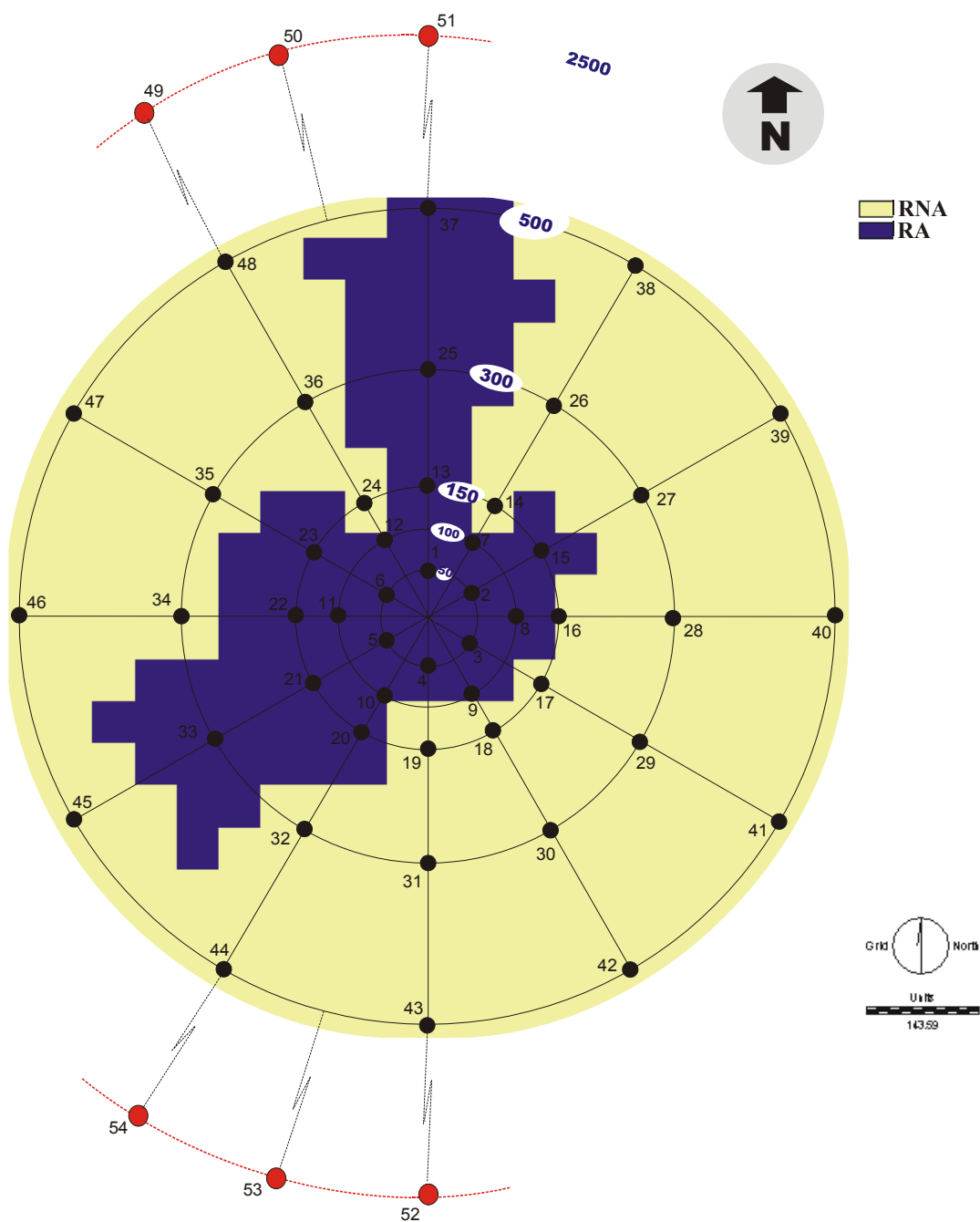


Figura 4.83 - Distribuição espacial das Regiões RA e RNA para a variável Bário (Ba ppm), definidas pelo critério probabilístico.

A tabela 4.35 descreve a classificação ou não das estações amostrais na Região Alterada (RA). Semelhantemente ao resultado obtido pelo TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*), as estações não coincidiram totalmente. O critério de classificação

utilizando métodos Geoestatísticos Bayesianos incluiu na Região Alterada (RA) a estação número 12. O valor observado de Bário (Ba ppm) na estação amostral número 12 na segunda operação de amostragem (MD2) foi 407 ppm. Esta estação se encontra em uma região caracterizada predominantemente por um aumento de concentração de Bário no MD2.

As estações amostrais vizinhas à estação número 12, registram valores superiores a 1000 ppm. O valor de 407 ppm foi observado em um ponto isolado dentro da região (*pixel*) definido com 2756.25 m<sup>2</sup>. Os resultados do modelo ajustado apontam para uma probabilidade maior que 0.5 de que esta região (*Pixel*) apresente concentrações maiores que 407 ppm.

Tabela 4.35 Classificação das estações amostrais de acordo com a variável Bário (Ba ppm) de acordo com os critério do Capítulo 3 e critérios adotados no Capítulo 4

Estações amostrais	Tabela 3.4	Figura 4.81
1	X	X
2	X	X
3	X	X
4	X	X
5	X	X
6	X	X
7	X	X
8	X	X
9	X	X
10	X	X
11	X	X
12	Ausente	X
13	X	X
15	X	X
20	X	X
21	X	X
22	X	X
23	X	X
25	X	X
33	X	X
37	X	X

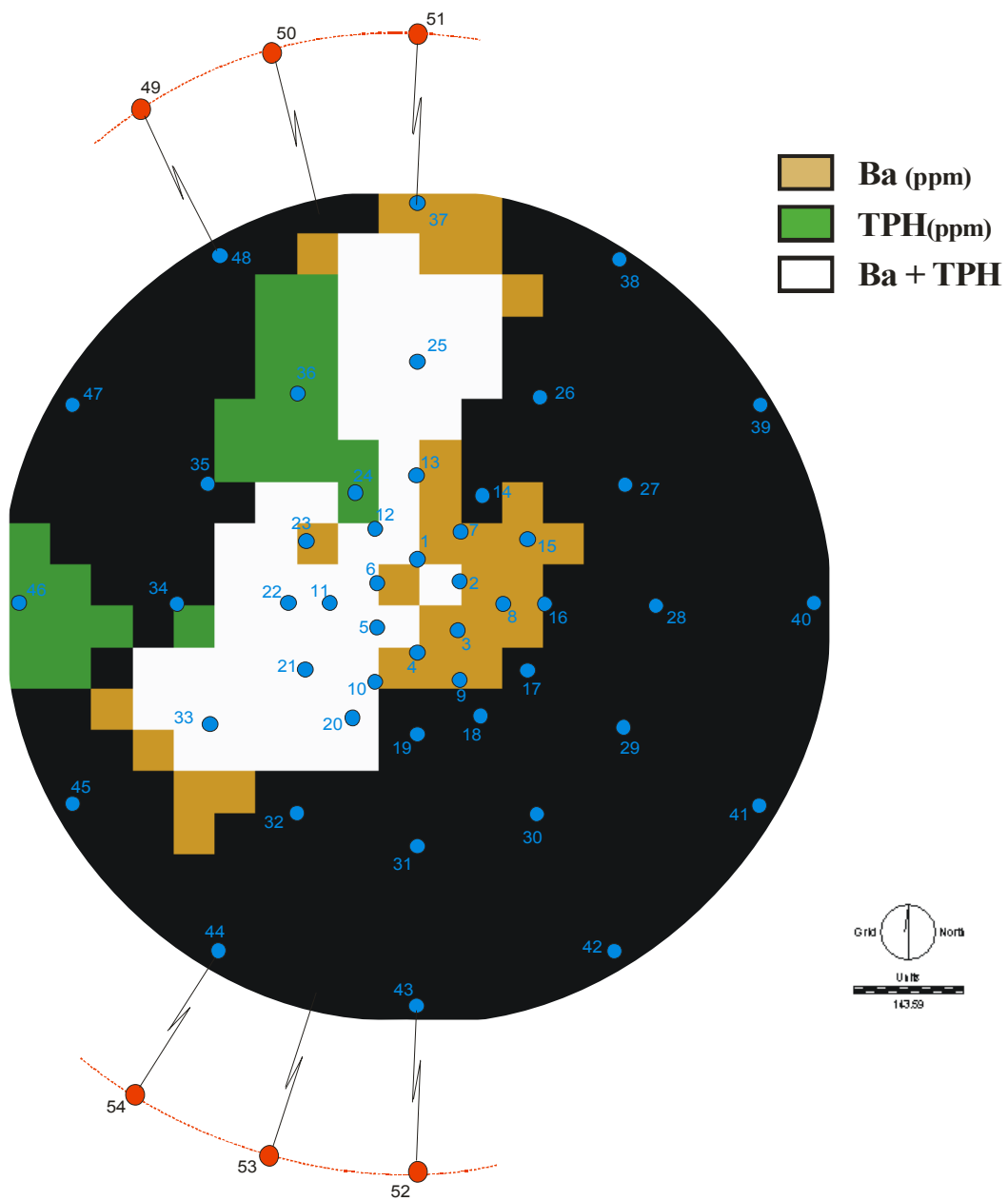


Figura 4.84 - Distribuição espacial das Regiões RA e RNA para a variável Bário (Ba ppm), definidas pelo critério probabilístico.

A região alterada está classificada por dois indicadores, o TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) e o Bário (Ba ppm). Os *pixels* na cor verde foram classificados somente pela presença de TPH, e são indicadores da fase de perfuração com Fluido Não Aquosos (NAF). Os *pixels* na cor marrom foram classificados somente pela presença de Bário, e são os indicadores da fase que utilizou o Fluido Base Água (WBF). Os *pixels* identificados pela

cor branca, (Fig 4.82) registraram simultaneamente TPH e Bario. Esta região registra de forma aditiva as fases do uso de Fluido Aquoso e Fluido Não Aquosos (WBF + NAF).

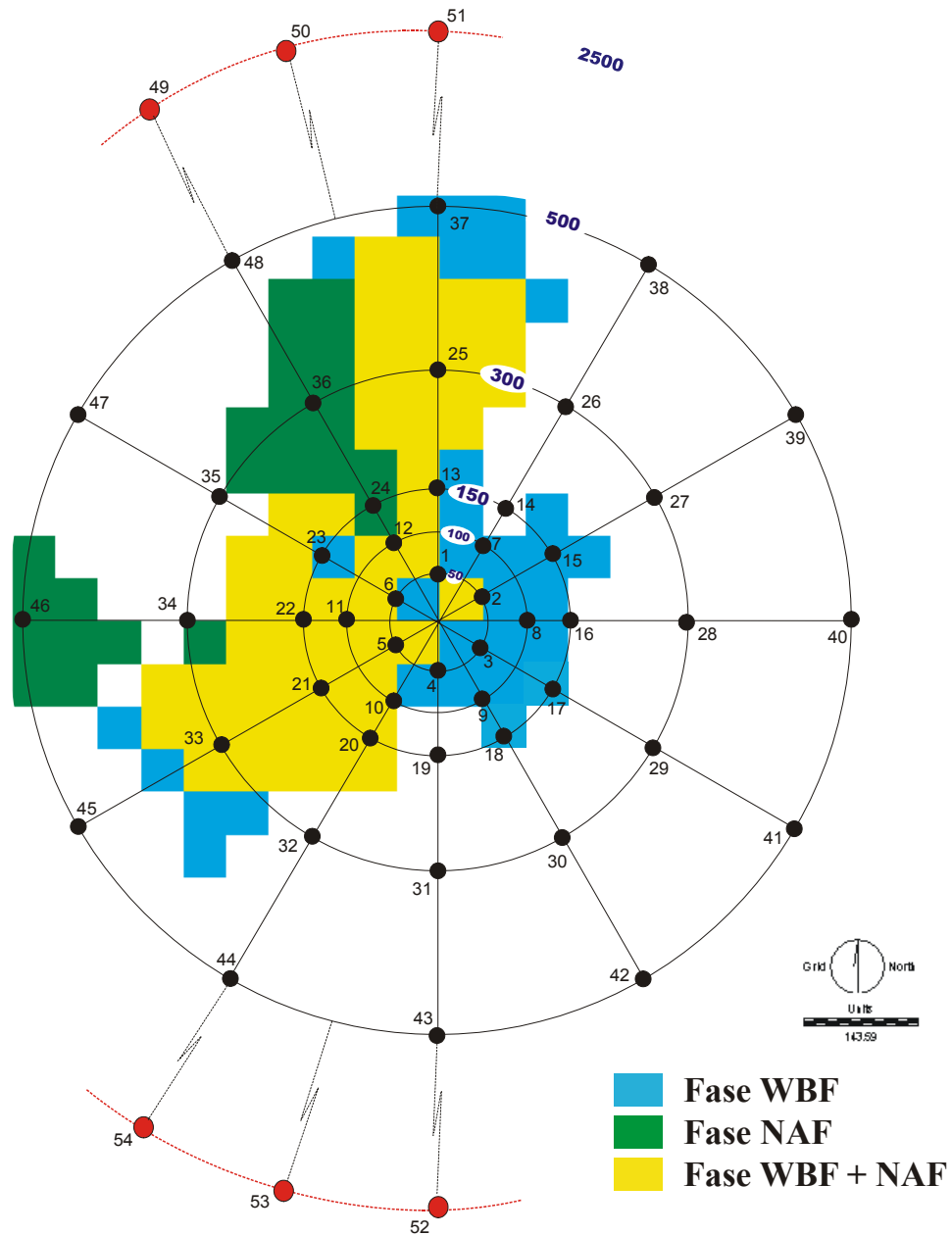


Figura 4.85 – Descrição das áreas com registros das fases WBF, WBF + NAF já incluindo os *pixels* que apresentaram somente *cuttings* (Pixels sob as estações amostrais 17 e 18). O grupo somente NAF não foi separado nas ANOVA (Cap. 5) devido ao pequeno número observado de estações amostrais.

## **5. TESTE SOBRE OS EFEITOS BIOLÓGICOS OBSERVADOS NAS DIFERENTES REGIÕES DEFINIDAS A PARTIR DOS INDICADORES DOS FLUÍDOS WBF E NAF: UM EXEMPLO.**

As comunidades bentônicas, por diversas razões detalhadas por Warwick (1993), são usualmente utilizadas para avaliar impactos ambientais.

A partir do delineamento BACI (Before-After Control-Impact), hipóteses foram testadas sobre o possível impacto ambiental nas comunidades bentônicas em regiões com registros das atividades de perfuração com fluido aquoso (WBF) e fluido não aquoso (NAF). De acordo com Warwick (1988, 1993) meiofauna e macrofauna apresentam características diferentes quando o objetivo é detectar gradientes ambientais. O estudo de ambos os grupos permite detectar comportamentos diferentes que são funções de diferentes processos ecológicos alterados ou não pela atividade antrópica.

Duas variáveis, uma da meiofauna (ME\_SG) e uma da macrofauna (SED\_DET) foram analisadas com técnicas univariadas. Efeitos de interesse científico foram testados através da análise de variância (ANOVA). Métodos Geoestatísticos foram utilizados como ferramenta auxiliar na compreensão do fenômeno. Além disto, um conjunto de técnicas de análise multivariada foi aplicado ao banco de espécies (estrutura de comunidades). As variáveis que apresentaram alta variabilidade (heterogeneidade) sofreram transformação para estabilizar a variância.

### **5.1 Análise da estrutura de comunidades para a meiofauna**

A técnica de análise multivariada, denominada Escalonamento Multidimensional (MDS - *Multidimensional Scaling*), foi aplicada a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades. O objetivo primário desta técnica é o ajuste dos dados originais em um sistema de coordenadas de pequena dimensão mantendo sempre a preocupação para que a perda da informação causada pela redução na dimensionalidade seja minimizada. Os escores gerados para cada componente (MDS\_escores 1 e MDS\_escores 2) traduzem a informação a respeito da similaridade entre as amostras.

Os escores foram apresentados em gráficos de dispersão distinguindo os fatores Distância e WBF\_NAF e também mostrando as estações amostrais (Figura 5.2 e 5.3). O resultado mostra que a dispersão dos escores acontece predominantemente ao longo do eixo 1. A maioria das estações amostrais no MD2 (Figura 5.1) identificadas pela cor cinza apresentam escores negativos no eixo MDS\_escores 1, indicando assim, um comportamento diferenciado em relação aos outros dois cruzeiros, observados nas operações de amostragem 1 e 3 (MD1 e MD3).

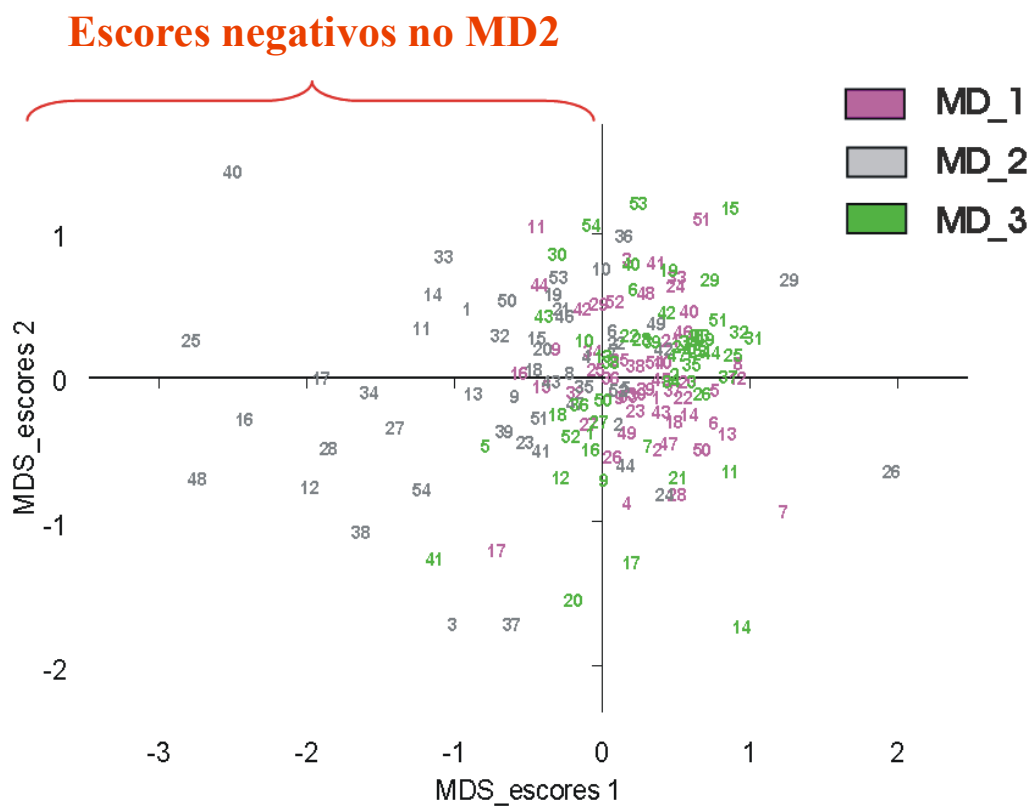


Figura 5.1 - Gráfico de dispersão 2D dos escores gerados pela análise MDS.

Nota: Os números identificam as estações amostrais.

A Análise de Agrupamento realizada com os escores separou as estações amostrais em dois grupos (clusters) distintos. O cluster 2, descrito no gráfico 2 da Figura 5.4, mostra que as 11 estações classificadas neste grupo foram observadas no MD2. O cluster 1 é

formado pelas demais estações. Note que 27 estações amostrais do MD2, das quais 16 classificadas no cluster 1, apresentam escores negativos menores que 0.40 (Elipse amarela no gráfico 2 da Figura 5.4). Isto indica que além das 11 estações classificadas no cluster 2, as demais estações observadas no MD2 e classificadas no grupo 1, aparentam um comportamento similar ao cluster 2, porém menos intenso. Somente as estações 26 e 29 exibem um comportamento diferente das demais, provavelmente associado à densidade relativa do grupo trófico Fitobentófaos 2A% não discutida neste trabalho.

Na Figura 5.4, os gráficos 3 e 4 mostram claramente que o comportamento diferenciado observado na grande maioria das estações do MD2 acontece em estações amostrais localizadas em todas as distâncias estudadas, inclusive a 2500 metros. Analogamente, os resultados descritos na Figura 5.4 gráficos 5 e 6 indicam que não há distinção razoável a partir da estrutura de comunidades meiobentônicas em relação às regiões onde foram observados depósitos de material associados primeiramente ao Fluido Base Água (WBF) e posteriormente ao Fluido Base Não Aquosa (NAF). Por exemplo, estações pertencentes ao grupo RNA (sem registro da presença de fluido de perfuração) apresentaram comportamento similar às estações pertencentes ao grupo WBF (Registros de fluido base água), WBF+NAF (registro do fluido base-água e base não-aquosa) e ao grupo REF.

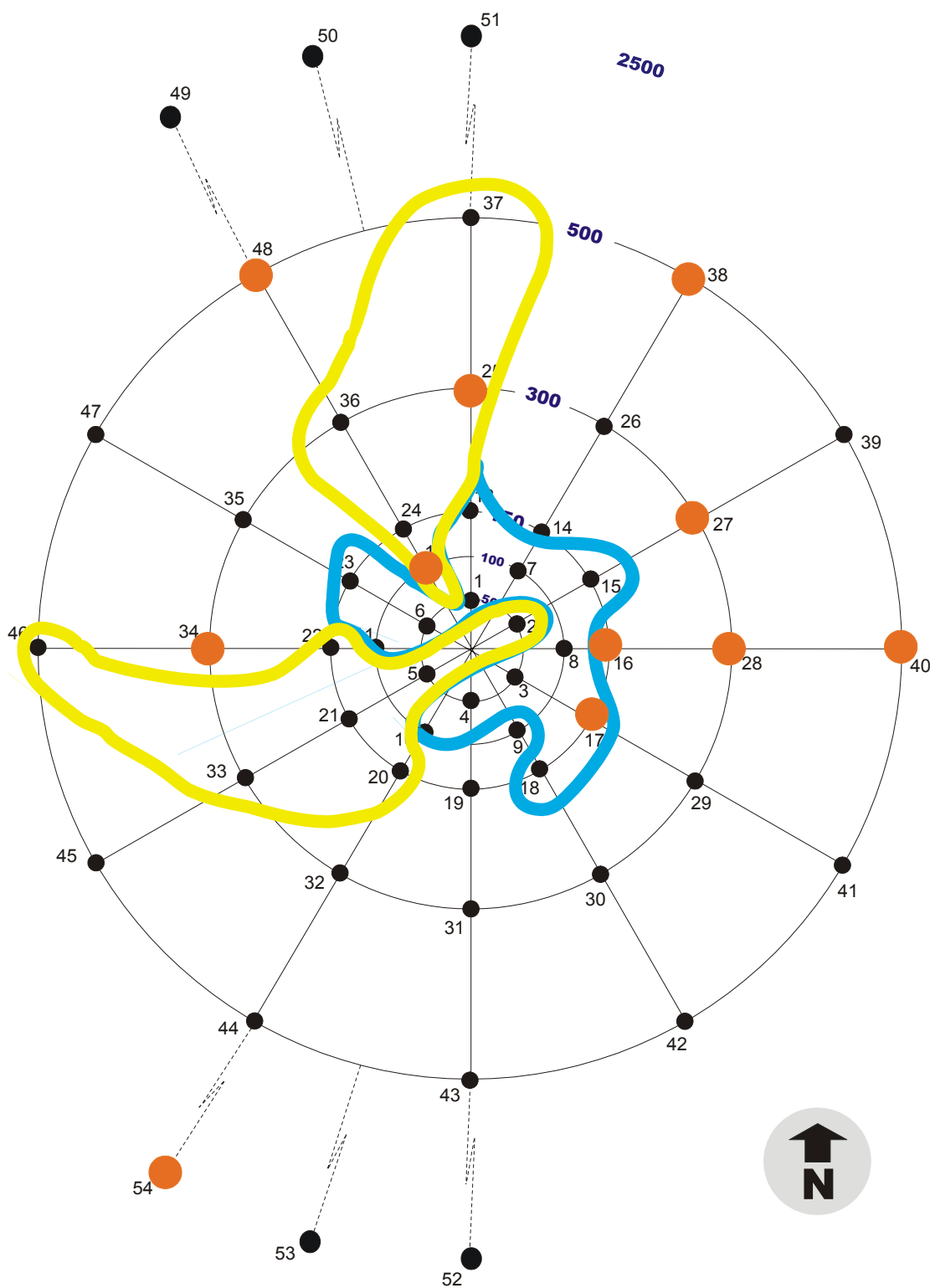


Figura 5.2 - Estações amostrais do cluster 2 (círculos cor de laranja). Região Alterada conforme critério definido no Capítulo 3



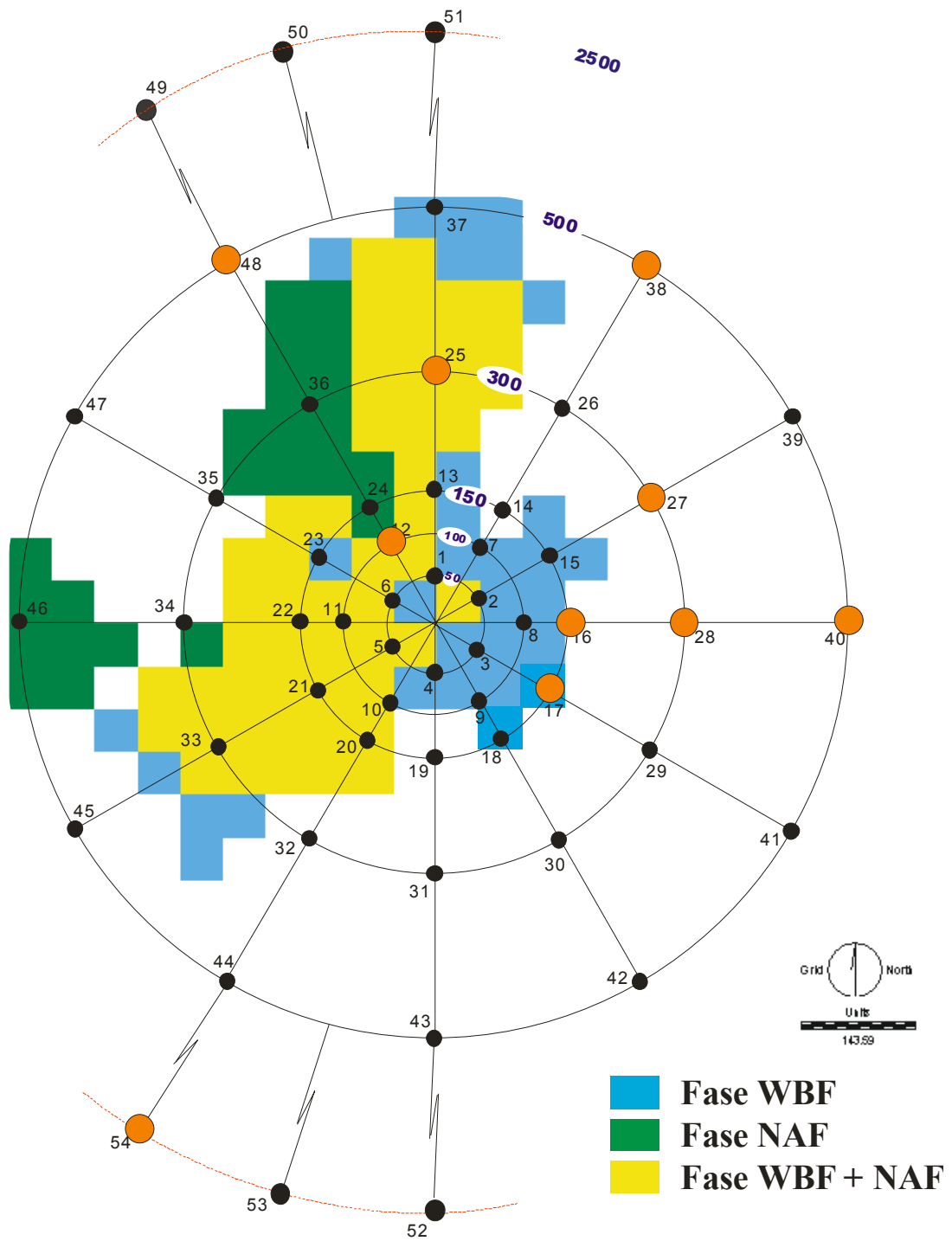


Figura 5.3 - Estações amostrais do cluster 2 (círculos cor de laranja). Região Alterada conforme critério definido no Capítulo 4 (Geoestatística Bayesiana).

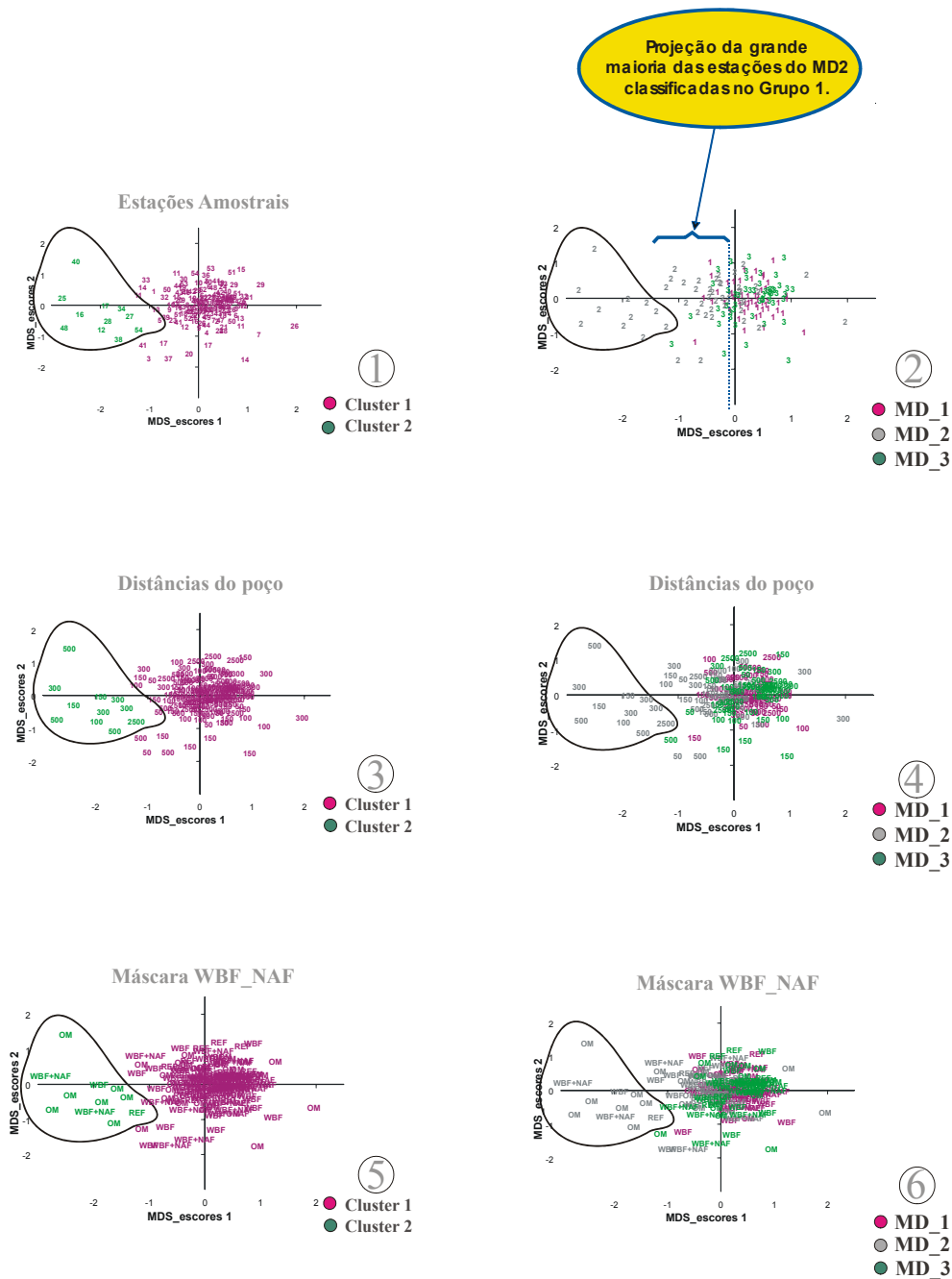


Figura 5.4. Gráfico de dispersão 2D dos escores gerados pela análise MDS com os resultados da Análise de agrupamento (Cluster). Gráficos 1 e 2 descrevem o número das estações e os cruzeiros. Gráficos 3 e 4 descrevem as distâncias do poço. Gráficos 5 e 6 descrevem a localização das estações em relação aos registros dos diferentes fluidos de perfuração.

Tabela 5.1 - Valores de TPH (ppm) e Cuttings (%) nas estações amostrais do cluster 2.

	TPH (ppm)		Cuttings (%)	
	MD1	MD2	MD1	MD2
12	1.72	8.53	0	7
16	0.28	1.27	0	0
17	3.21	2.75	0	2
25	1.68	12.07	0	5
27	0.89	0.82	0	0
28	1.96	2.67	0	0
34	1.78	3.04	0	1
38	1.48	1.49	0	1
40	1.22	1.14	0	0
48	2.56	1.48	0	0
54	1.85	0.96	0	0

A Tabela 5.1 mostra que, com exceção das estações 12, 17 e 25, as demais estações amostrais classificadas no cluster 2 não apresentaram indícios de aumento significativo do TPH e/ou da área coberta por cuttings. As estações 12, 17 e 25 estão localizadas dentro da região Alterada (RA) (marcadas em amarelo).

A tabela 5.2 descreve os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os escores obtidos a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades da meiofauna e as demais medidas relativas às comunidades meiobentônicas que não serão discutidas de forma univariada.

A magnitude da correlação é mostrada em ordem decrescente ao longo das linhas da tabela. Por exemplo, a maior correlação com os escores da componente 1 (MDS\_escore\_1) foi identificada com a variável ME\_SG (número de gêneros de Nemátodos) ( $r = 0.80359$ ,  $p < 0.0001$ ), altamente significativo e a menor correlação entre os escores da componente 1

(MDS\_escores\_1) foi com a variável 1A%, a qual é a proporção de Detritívoros Seletivos dentro dos gêneros dominantes ( $r = -0,033$ ,  $p = 0,6807$ ).

Tabela 5.2. Matriz de correlação entre as medidas univariadas da meiofauna e os escores da análise MDS sobre a matriz de similaridade da estrutura de comunidades da meiofauna.

Coeficiente de correlação de Pearson, N = 157							
Prob >  r  sobre H <sub>0</sub> : R=0							
<b>Escores_1</b>	<b>Escores_1</b>	<b>ME_SG</b>	<b>ME_SF</b>	<b>ME_N</b>	<b>ME_NNE</b>	<b>2A</b>	<b>1A</b>
	1.00000	0.80359	0.73620	0.69911	0.69894	0.63550	0.59881
		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
<b>Escores_2</b>	<b>Escores_2</b>	<b>1B</b>	<b>ME_SF</b>	<b>2Bp</b>	<b>1Bp</b>	<b>ME_SG</b>	<b>ME_NNE</b>
	1.00000	0.31035	0.28102	-0.27290	0.26827	0.23154	0.20889
		<.0001	0.0004	0.0005	0.0007	0.0035	0.0087
<b>Escores_1</b>	<b>1B</b>	<b>2Ap</b>	<b>2B</b>	<b>1Bp</b>	<b>Escores_2</b>	<b>2Bp</b>	<b>1Ap</b>
	0.51928	0.48933	0.43854	-0.32333	0.09794	0.05794	-0.03310
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.2223	0.4711	0.6807
<b>Escores_2</b>	<b>ME_N</b>	<b>2A</b>	<b>1A</b>	<b>Escores_1</b>	<b>1Ap</b>	<b>2Ap</b>	<b>2B</b>
	0.18271	0.15663	0.12749	0.09794	-0.09537	-0.07020	-0.04435
	0.0220	0.0501	0.1116	0.2223	0.2348	0.3823	0.5812

Os coeficientes de correlação de maior interesse e as probabilidades associadas (marcadas em amarelo) indicam que a informação intrínseca aos dados da estrutura de comunidades, representada pelos escores da análise *Multidimensional Scaling* (MDS), possivelmente está preservada nas medidas definidas por número de gêneros de Nemátodas (ME\_SG), número de famílias de Nemátodas (ME\_SF), densidade da meiofauna (ME\_N) e densidade de Nemátodas (ME\_NNE).

Os gráficos de dispersão (Figura 5.5) descrevem a relação existente entre a informação da estrutura de comunidades e as variáveis ME\_SG, ME\_SF, ME\_N e ME\_NNE as quais são significantes do ponto de vista estatístico. O modelo de regressão linear utilizando o método Stepwise para a seleção de variáveis foi empregado com o objetivo de identificar, entre todas as variáveis do Projeto, aquelas que possuem poder explicativo para o comportamento dos escores obtidos na análise MDS realizada a partir da matriz de similaridade da estrutura da comunidade meiobentônica.

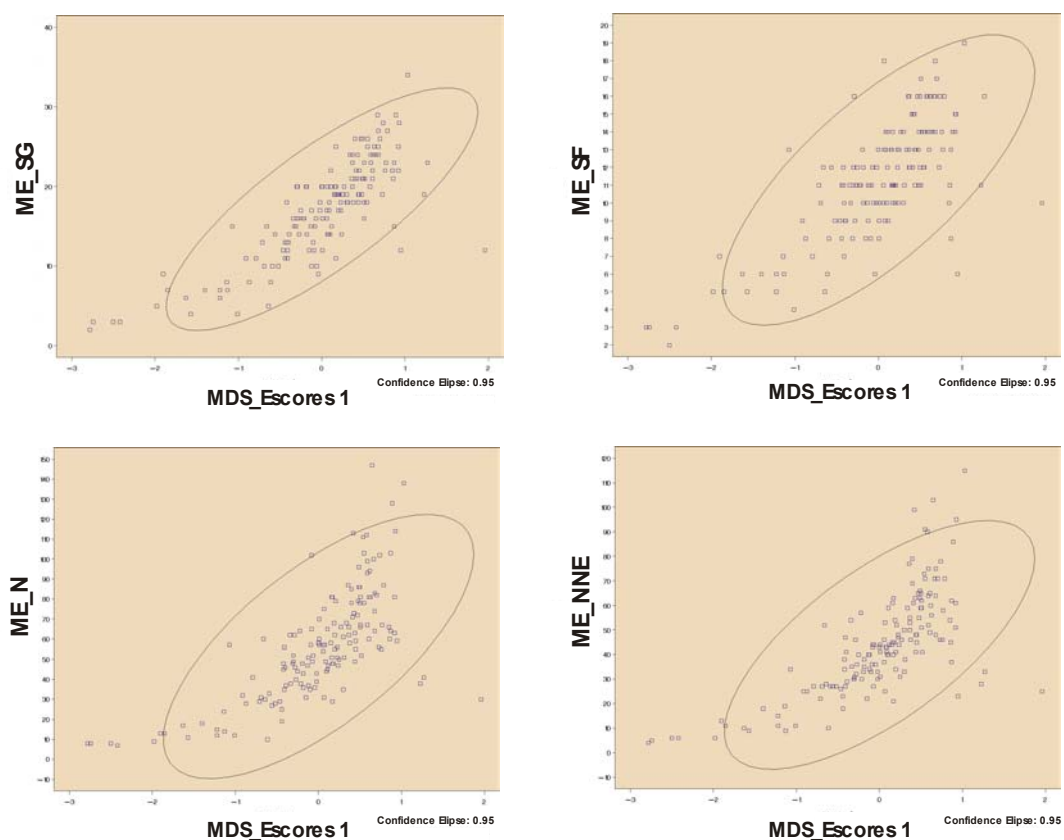


Figura 5.5 - Gráficos de dispersão e elipse com 95% de confiança entre os escores da componente 1 (MDS) e as demais variáveis da meiofauna.

O modelo foi definido inicialmente utilizando-se as variáveis das áreas da Geologia, da Química e as medidas univariadas da meiofauna. O resultado do modelo após cinco (5)

passos está descrito na Tabela 5.3. Nenhuma variável, além das citadas, mostraram nível descritivo amostral menor que 0.05 ( $p \leq 0.05$ ).

Tabela 5.3 – Variáveis que permaneceram no Modelo de Regressão, coeficientes de determinação parcial do modelo e as probabilidades associadas.

Variáveis selecionadas pelo método de regressão linear Stepwise						
	Variável	Número	Parcial	Modelo		
Passo	Inclusão	Vars incl.	R-Quadrado	R-Quadrado	Valor F	Pr > F
1	ME_SG	1	0.6458	0.6458	282.56	<.0001
2	A2p	2	0.0304	0.6761	14.44	0.0002
3	As	3	0.0142	0.6904	7.03	0.0088
4	A2	4	0.0148	0.7052	7.65	0.0064
5	ME_NNE	5	0.0475	0.7527	29.03	<.0001

Logo, as variáveis: número de gêneros de Nemátodas (ME\_SG), densidade relativa de fitobentófagos (2A%), densidade absoluta de fitobentófagos (2A), densidade de Nemátodas (ME\_NNE) explicam significativamente o comportamento dos escores da componente 1 (MDS\_escore\_1), obtidos através da análise Multidimensional Scaling (MDS) a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades meiobentônica. Analogamente, é possível compreender o comportamento da estrutura de comunidades através das variáveis selecionadas pelo modelo de regressão linear *Stepwise*. Diversos modelos que tem por objetivo selecionar variáveis explicativas estão propostos na literatura. Entre eles temos os modelos de regressão linear *Stepwise selection*, *Forward selection*, *Backward elimination*, *Mallows' Cp*, *Adjusted R-square* entre outros.

Todos os procedimentos investigados indicam que a variável, número de gêneros de Nemátodas (ME\_SG) detém alto poder de explicação da informação intrínseca à estrutura de comunidades. Regredindo ME\_SG sobre os escores da componente 1 MDS\_escores\_1) ( supondo linearidade nas variáveis e nos parâmetros do modelo) o coeficiente de

determinação foi igual a  $R^2 = 0.6458$ . O coeficiente de regressão foi significativo ( $p < 0.0001$ ).

Tabela 5.4 - Resultados da análise de regressão linear simples da variável ME\_SG sobre os escores da componente 1 (MDS\_escores\_1) da estrutura de comunidades meiobentônicas.

Variável	Parâmetros estimados				
	GI	Parâmetros Estimados	Erro Padrão	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	-1.68850	0.10701	-15.78	
ME_SG	1	0.09859	0.00587	16.81	<.0001

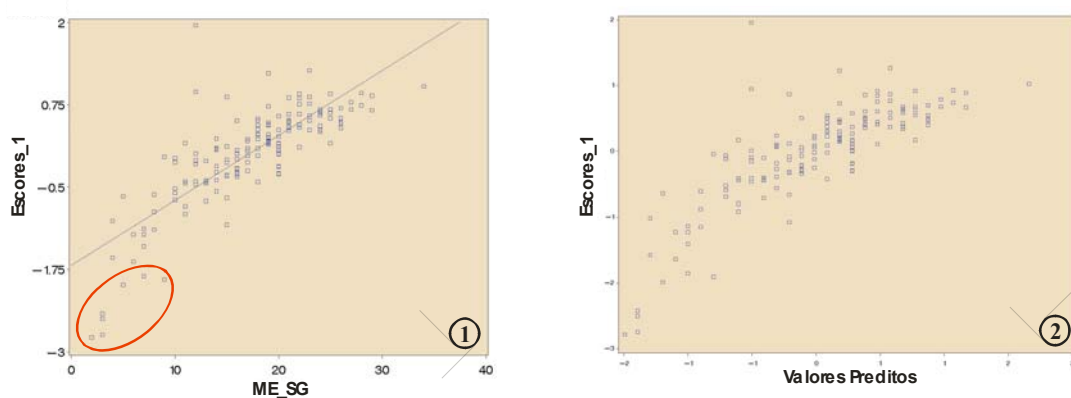


Figura 5.6 - (1) Gráficos de dispersão e reta de regressão ajustada entre a variável dependente definida pelos os escores da componente 1 (MDS) e as a variável independente (explicativa) ME\_SG . (2) Dispersão entre valores preditos pelo modelo e a variável dependente escores\_1.

Nota-se uma fraca tendência não linear na relação entre as duas variáveis, ocasionada principalmente pelas observações indicadas na elipse vermelha descrita na Figura 5.6 (1). Da mesma forma, a relação entre os valores preditos pelo modelo e os valores observados indiretamente (MDS\_escores\_1) aparenta um comportamento não linear, diferentemente do esperado (Fig. 5.6 (2)). Este comportamento já foi constatado anteriormente através da elipse de com 95% confiança para o coeficiente de correlação linear entre as duas variáveis (Fig 5.5).

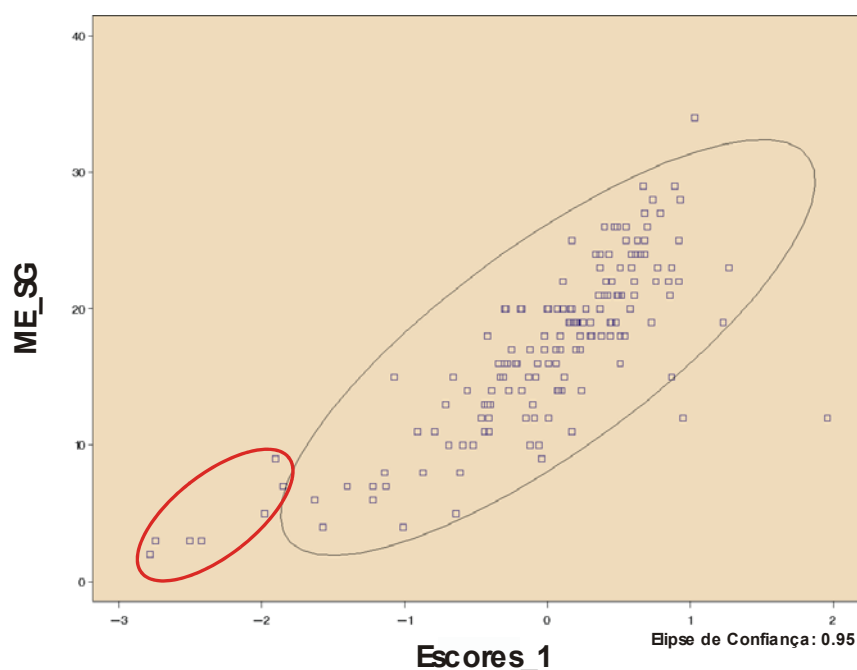


Figura 5.7 Gráficos de dispersão e elipse com 95% de confiança entre os escores da componente 1 (MDS) e a variável ME\_SG.

O ajuste de um modelo de regressão linear nos parâmetros e não linear nas variáveis melhorou o grau de ajuste e explicação sobre a variável dependente MDS\_escores\_1. O polinômio de terceiro grau, manteve a linearidade nos parâmetros e melhorou o coeficiente de determinação  $R^2 = 0.7339$ .

Tabela 5.5 Resultados da análise de Regressão Linear Múltipla (forma cúbica) da variável ME\_SG sobre os escores da componente 1 da estrutura de comunidades meiobentônicas.

Parâmetros estimados					
Variável	Gl	Parâmetros estimados	Erro padrão	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	-3.23095	0.26614	-12.14	<.0001
ME_SG	1	0.39314	0.05678	6.92	<.0001
ME_SG_2 (ao quadrado)	1	-0.01516	0.00365	-4.15	<.0001
ME_SG_3 (ao cubo)	1	0.00022089	0.00007154	3.09	0.0024



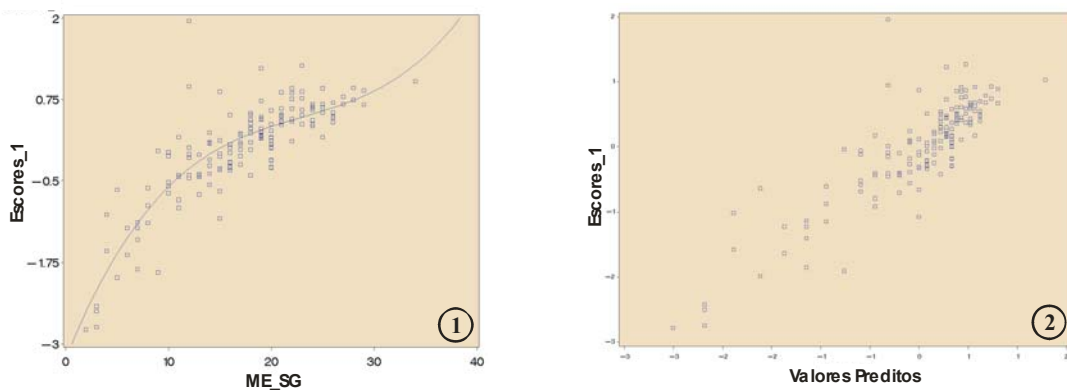


Figura 5.8 - (1) Gráficos de dispersão e reta de regressão linear simples nos parâmetros ajustada entre a variável dependente definida pelos os escores da componente 1 (MDS) e a variável independente (explicativa) ME\_SG. (2) Dispersão entre valores preditos pelo modelo e a variável dependente escores\_1.

O ajuste do modelo polinomial de grau três (3), pode ser usado com bastante precisão, para predição de valores dentro do intervalo dos dados observados. O gráfico de dispersão entre os valores preditos e os valores observados indiretamente através dos escores da componente 1 (MDS\_escores\_1) exibem agora um comportamento linear, coerente com o esperado (Fig.5.8 (2)). No entanto, devido à facilidade de interpretação na análise conjunta com as demais variáveis, o modelo linear (Tabela 5.4 e Fig. 5.6) pode ser adotado.

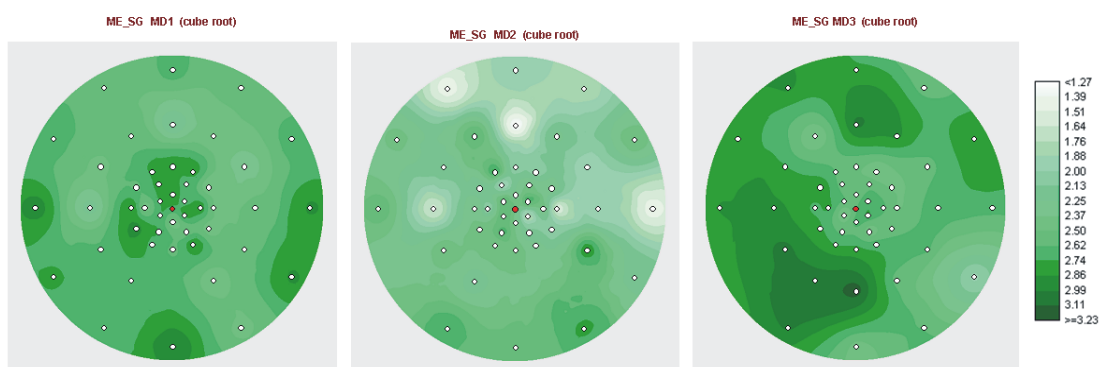


Figura 5.9 - Geoestatística da variável ME\_SG no MD1, MD2 e MD3.

Transformação aplicada: raiz cúbica  $(\sqrt[3]{ME\_SG})$ .

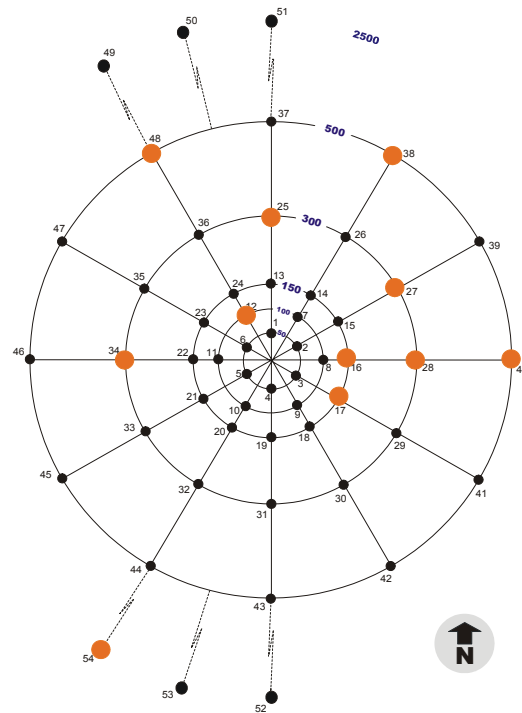


Figura 5.10 - Estações amostrais do cluster 2 (círculos em laranja)

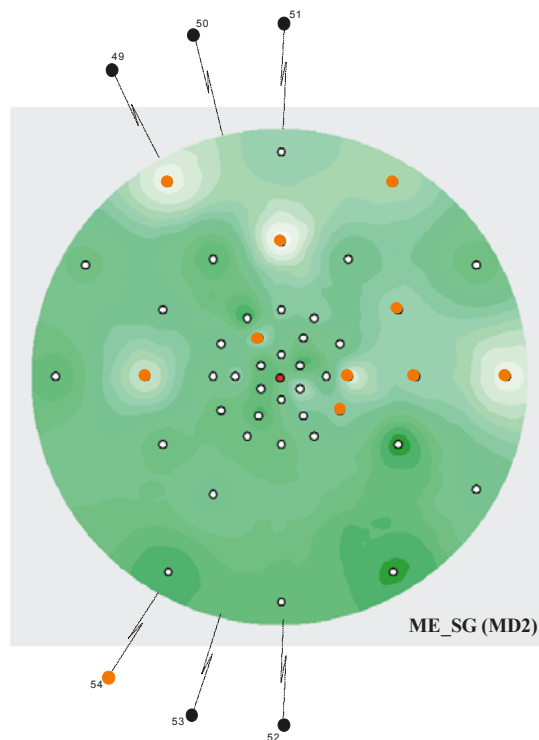


Figura 5.11 - Geoestatística da variável ME\_SG MD2 e as estações amostrais do grupo 2 (círculos em laranja).

Fica evidente que o comportamento da estrutura de comunidades está preservado na medida univariada ME\_SG. A Figura 5.10 descreve as estações amostrais classificadas no cluster 2, através da Análise de Agrupamento, descritas anteriormente na Figura 5.4 gráficos 1,3 e 5. As mesmas estações amostrais estão indicadas na Figura 5.11, agora sobre a superfície estimada para a raiz cúbica da variável ME\_SG. Os pontos marcados em cor de laranja (cluster 2) são aqueles que apresentaram a maior diminuição no MD2. No entanto, cabe ressaltar que a grande maioria das estações do MD2 diminuíram em relação ao MD1 (Fig.5.9 (2)) confirmando a informação anterior dada pela variável MDS\_escore\_1 e mostrada na Figura 5.4 gráfico 2 (elipse amarela). Além disto, resalta-se novamente a correlação significativa entre ME\_SG e MDS\_escore\_1 ( $r=0.8035$ ;  $p<0.0001$ ), conforme Figuras 5.10 e 5.11. Na Figura 5.9 (2), o gráfico central (MD2) descreve uma média geral menor para a variável ME\_SG em relação os demais cruzeiros (MD1 e MD3) dentro do raio de 500 metros, indicado pela tonalidade verde mais clara.

O desenvolvimento das análises a partir da estrutura de comunidade meiobentônicas demonstrou primeiramente, que os escores da componente 1 ( MDS\_escores\_1) explicam uma parcela significativa da variabilidade existente na estrutura de comunidades. Segundo, que existe uma alta correlação, significativa, entre estes escores e as variáveis ME\_SF, ME\_N e ME\_NNE entre outras variáveis da meiofauna e principalmente com a variável ME\_SG. Posteriormente, o modelo de regressão linear *Stepwise* selecionou, entre todas as variáveis medidas, aquelas que detinham a capacidade de explicar significativamente o comportamento da estrutura de comunidades. Os resultados indicaram que algumas variáveis, exclusivamente da meiofauna, definidas como medidas univariadas, foram significativas e conseqüentemente escolhidas para serem mantidas dentro do modelo. O resultado do ajuste de dois modelos de regressão linear, da variável ME\_SG sobre os escores da componente 1 demonstraram forte evidência da preservação da informação sobre a variabilidade da estrutura de comunidades através desta medida univariada. Outras variáveis da meiofauna poderiam ser detalhadas da mesma maneira.

Alem disto, as variáveis 2A%, 2A, ME\_NNE carregam importante informação sobre a estrutura original. Desta forma, utilizar as medidas univariadas oferecidas pelas variáveis descritas acima, mantém grande parte da informação contida na análise multivariada MDS aplicada na matriz de estruturas de espécies. Neste sentido a análise

posterior utilizará a medida ME\_SG por considerar que não há perda de informação em relação à estrutura de comunidades. O modelo desenvolvido e aplicado, sobre a variável ME\_SG (ANOVA, utilizando modelos mistos) é providos de maior poder, acarretando com isto maior credibilidade sobre decisão tomada em relação a possíveis mudança na estrutura de comunidades

## 5.2 Análise de variância considerando o fator WBF\_NAF (Fase WBF e FASE WBF + NAF) ao longo do tempo.

A hipótese a ser testada através do modelo descrito no Capítulo 2.4 é de que não há diferença significativa nas variáveis em relação às regiões com registro da atividade de perfuração e aos três cruzeiros (três operações de amostragem MD1, MD2 e MD3). Os indicadores da atividade de perfuração foram divididos de acordo com o fluido utilizado, dando origem a quatro (4) grupos distintos (estratégias abordadas nos capítulos 3 e 4). Inicialmente foi testada a hipótese sobre as componentes geradas a partir da análise Multidimensional Scaling (MDS), aplicada sobre dados da estrutura de comunidades e identificadas como MDS\_escore\_1 e MDS\_escore\_2.

Tabela 5.6 – Valores das probabilidades do teste ANOVA sobre os escores (MDS\_escores\_1) originários da matriz de similaridade da estrutura de comunidades considerando como fonte de variação os cruzeiros e as regiões de deposição dos diferentes fluidos.

Fonte de Variação	GL	Escore_1	Escore_2
Operação de amostragem	2	< 0.0001	0.9173
WBF_NAF	5	0.5701	0.4487
OP X WBF_NAF	10	0.7532	0.6080

Nota: A tabela inclui as fontes de variação do modelo dado por 3 cruzeiros (operações de amostragem) e o Fator WBF\_NAF. A segunda coluna descreve os graus de liberdade para cada fonte, seguido pelos valores de probabilidade para as variáveis sintéticas originárias da matriz de similaridade das comunidades meio bentônicas.

Os resultados com a abordagem com o fator WBF\_NAF apontou novamente efeito significativo de cruzeiro (Operação de amostragem, (OA)) na variável MDS\_escores\_1. A variável MDS\_escores\_2 novamente não mostrou efeitos significativos. O resultado para a variável MDS\_escores\_1 indica que pelo menos um dos cruzeiros (OA) difere significativamente dos demais, independentemente das regiões de deposição dos diferentes fluídos. Na Figura 5.12 o primeiro gráfico mostra os perfis das médias de cada região dentro dos três cruzeiros. As médias de todas as quatro regiões, WBF, RNA WBF+NAF e REF diminuem significativamente no segundo cruzeiro (MD2, elipse vermelha). Como o efeito significativo observado foi do fator cruzeiro ( $p < 0.0001$ ), novamente não é relevante verificar as médias separadamente (Fig. 5.12, primeiro gráfico). As médias de cada cruzeiro, independente das regiões de deposição dos fluídos, foram testadas entre si. Os resultados indicam que a média do MD2 difere significativamente ( $p < 0.0001$ ) de ambas as médias, MD1 e MD3 (Fig 5.12, segundo gráfico).

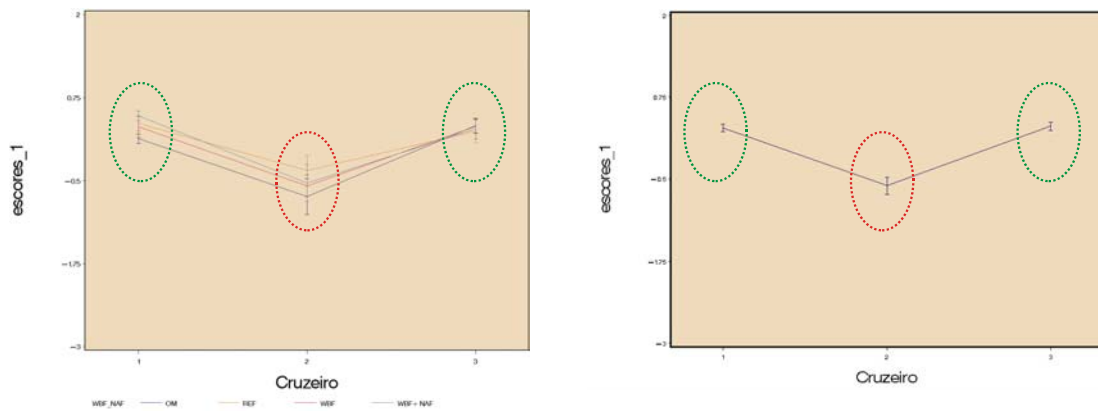


Figura 5.12 - Gráficos de perfis Cruzeiro (AO) x WBF\_NAF e efeito de cruzeiro para variável MDS\_escore\_1 (Componente 1 da análise MDS).

Nota: Elipses de cores diferentes em torno das médias dos cruzeiros indicam diferença significativa. Círculos de mesma cor não apresentam diferença significativa.

Tabela 5.7 - Valores das probabilidades do teste ANOVA para a variável da meiofauna ME\_SG e Sabatieria considerando como fontes de variação os cruzeiros (OA) e as regiões de deposição dos diferentes fluídos.

Fonte de Variação	GL	ME_SG	Sabatieria <i>transf.</i> $\sqrt[3]{Sab}$
Operação de Amostragem	2	<0.0001	0.7212
Fator WBF_NAF	3	0.1153	0.6087
(OA) X WBF_NAF	6	0.9174	0.0093

Nota: A tabela inclui as fontes de variação do modelo dado por 3 cruzeiros (OA) e 4 regiões dentro do fator WBF\_NAF. A segunda coluna descreve os graus de liberdade para cada fonte, seguido pelos valores de probabilidade para a variável ME\_SG.

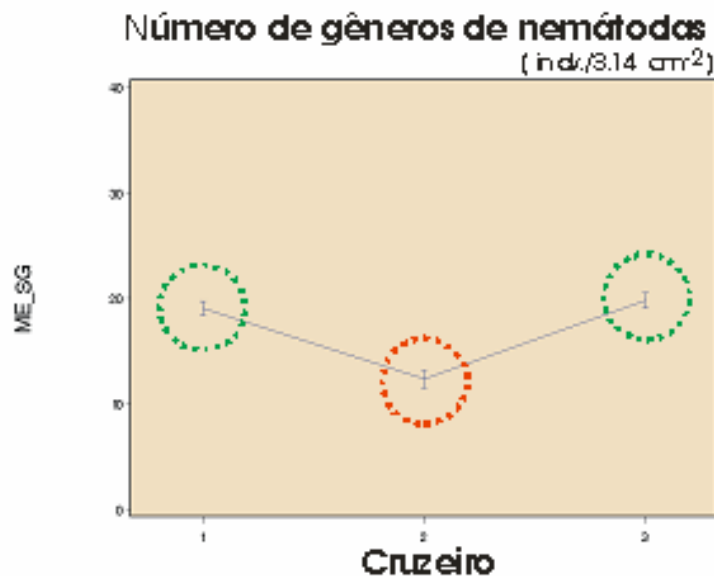


Figura 5.13 Gráfico para o perfil das médias dos cruzeiros (ME\_SG). Nota: Círculos de cores diferentes em torno das médias dos cruzeiros indicam diferença significativa.

Círculos de mesma cor não apresentam diferença significativa.

A variável originária da estrutura de comunidade, número de gêneros de Nemátodos (ME\_SG) mostrou somente efeito significativo de cruzeiro (Tabela 5.7, probabilidades

marcadas em amarelo). Os resultados indicam que pelo menos um dos cruzeiros difere significativamente dos demais, independentemente do fator WBF\_NAF. O modelo estatístico identificou uma diminuição significativa no MD2 para todas as médias das regiões WBF, WBF+NAF, RNA, inclusive nas estações de referência (REF). No terceiro cruzeiro (MD3) as médias retornaram aos níveis observados no MD1.

Tabela 5.8 –Comparações múltiplas de médias da interação do Fator Cruzeiro com o Fator WBF\_NAF para a variável Sabtieria.

	MD1			MD2			MD3		
RNA	<b>A</b>	6.59	<b>a</b>	<b>A</b>	3.94	<b>a</b>	<b>A</b>	4.15	<b>a</b>
REF	<b>A</b>	6.76	<b>a</b>	<b>A</b>	6.46	<b>a</b>	<b>A</b>	4.28	<b>a</b>
WBF	<b>A</b>	2.23	<b>b</b>	<b>B</b>	5.68	<b>a</b>	<b>B</b>	5.46	<b>a</b>
WBF+NAF	<b>A</b>	7.72	<b>a</b>	<b>A</b>	3.94	<b>a</b>	<b>A</b>	5.51	<b>a</b>

Obs: Letras maiúsculas comparam médias dentro de linhas. Letras minúsculas comparam médias dentro de colunas. Médias destransformadas.

O gênero Sabatieria revelou uma heterogeneidade espacial significativa no MD1. O grupo definido pelas estações amostrais com registro do fluido aquoso (WBF) difere significativamente das demais regiões antes da atividade de perfuração (Fig. 5.14, Círculo verde). Além disto, os resultados mostraram que somente a média do grupo WBF aumentou significativamente na passagem do MD1 para o MD2. Já no MD3 as médias mantiveram-se nos níveis observado durante o MD2 (Fig.5.14).

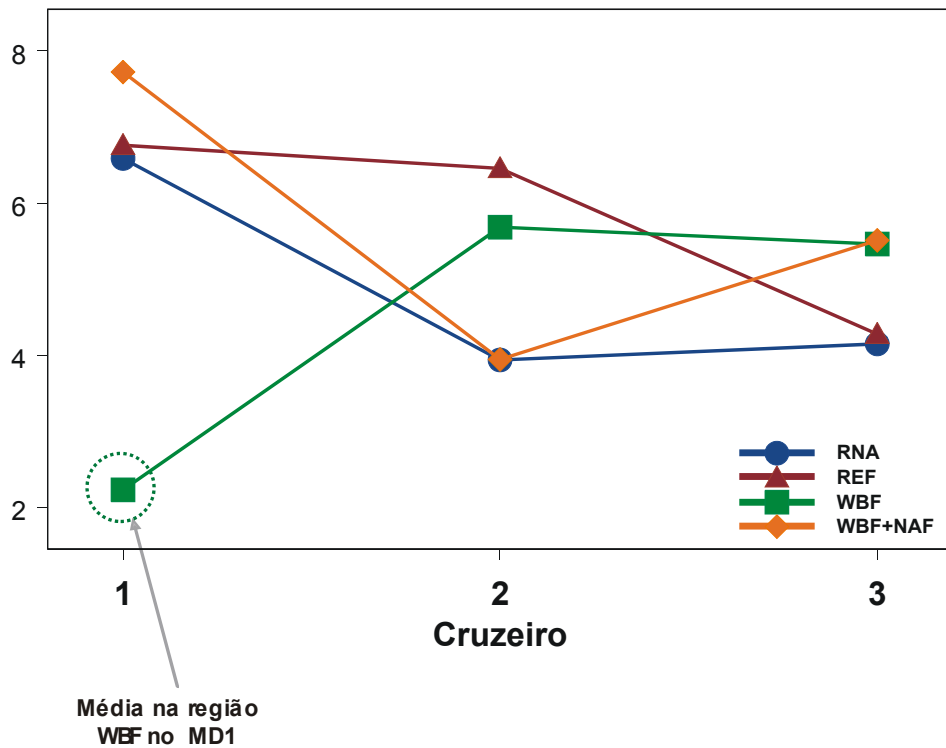


Figura 5.14. Gráfico de perfis da interação do Fator Cruzeiro com o Fator WBF\_NAF para a variável Sabatieria – (Médias destransformadas).

Com exceção das estações de referência (REF), a descrição do comportamento espacial do gênero Sabatieria bem como as regiões definidas pelos níveis do fator WBF\_NAF (WBF, RNA, WBF+NAF) (Fig. 5.15) permite visualizar a variabilidade espaço-temporal significativa já identificada pelo teste de hipótese anterior. Antes da perfuração do poço, foram detectadas estações amostrais com densidade nula do gênero Sabatieria, como por exemplo, as estações 4 e 8 no MD1, ambas localizadas na área que futuramente ocorreria somente a deposição de material proveniente da fase de perfuração com fluido aquoso (WBF) (Fig. 5.15). No MD2 foram registradas 3 ocorrências com densidades nulas para o gênero Sabatieria: nas estações 26 e 40 na região fora da máscara (RNA) e na estação 25 na região WBF+NAF (Figura 5.15(2)). A estação número 25, localizada na região WBF+NAF, registrou um valor de TPH de 12,07 ppm no MD2 contra 1,68 ppm no MD1. As estações 26 e 40 não mostraram indícios de fluido base-água (WBF) como cuttings ou Bário (Ba) nem do fluido base não-aquosa (NAF). As leituras do TPH nas estações 26 e 40 foram 1,36 ppm e 1,14 ppm no MD2 contra 1,69 ppm e 1,22 ppm no



MD1. A estação de referência número 54 registrou uma densidade de 15 indivíduos no MD1, 3 indivíduos no MD2 e somente 1 indivíduo no MD3, mostrando que além das estações localizadas na região RNA, foram observadas variações com amplitude similar na região REF. Analogamente no MD3, a estação número 40 registrou um aumento similar aos aumentos observados na região WBF. Os resultados indicam que parece existir um padrão de variação temporal pontualmente localizada do gênero. Isto é, o gênero *Sabatieria* registrou diminuição ou aumento em pontos isolados, independentemente dos indicadores da atividade de perfuração, químicos e/ou físicos como o TPH, Bário (Ba) e cascalho de perfuração (cuttings). No entanto, em média as regiões RNA, WBF+NAF e REF não variaram significativamente entre os cruzeiros. O mesmo não foi observado na região WBF, que aumentou a densidade média do Gênero *Sabatieria* no MD2, mantendo-se estável no MD3. O aumento da densidade de um gênero detritívoro não-seletivo (*Sabatieria*) no MD2 dentro da região definida somente pelo uso de fluido base-água (WBF) pode estar associado às mudanças físicas ocorridas nesta região. Ressalta-se, no entanto, que na estação amostral número 2 a ocorrência de *Sabatieria* permaneceu estável ao longo do tempo. É importante destacar que o aumento constatado na região WBF iguala a densidade média do gênero *Sabatieria* às demais densidades médias observadas nas outras regiões estudadas, RNA, WBF+NAF e REF.

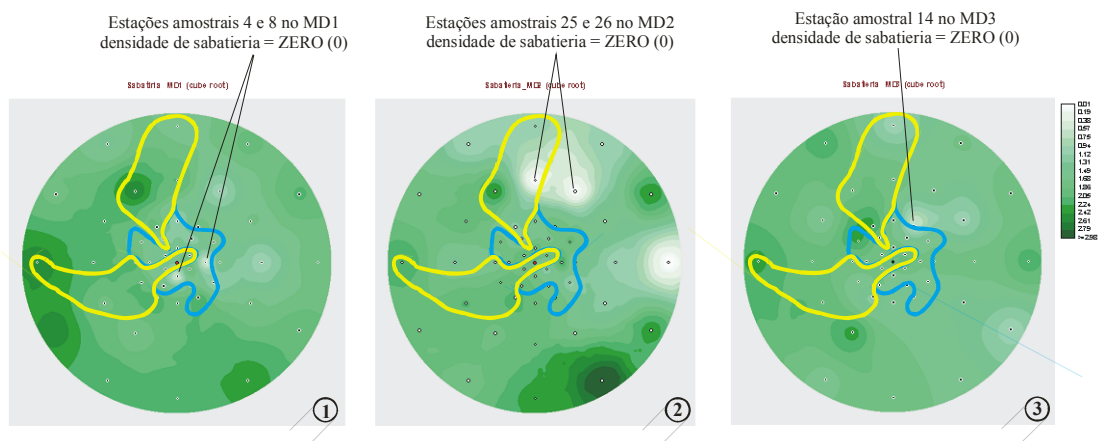


Figura 5.15. Geoestatística do gênero *Sabatieria* (densidade) com a sobreposição de 3 regiões que descrevem os níveis do fator Máscara dado por WBF, WBF+NA e RNA. O quarto nível, descrito pelas estações de referência (REF) não foi representado na figura.

(Transformação Raiz cúbica).

### 5.3 Resultados sobre as variáveis ME\_SG e Densidade de Sabatieria

As análises exploratórias a partir da estrutura de comunidades revelaram informações importantes como as resumidas de forma geral nesta seção.

Os escores gerados a partir da matriz de similaridades mostraram claramente que existe uma distinção entre a maioria das estações do MD2 em relação aos demais cruzeiros MD1 e MD3. O afastamento das observações do MD2 ocorre independentemente de Distância ou mesmo do fator máscara. A análise de Agrupamento (Cluster Analysis) classificou observações que apresentavam um maior afastamento das demais. Evidenciou-se que estas estações estavam localizadas em todas as distâncias estudadas, bem como em todas as regiões que apresentaram ou não registros de fluido de perfuração, inclusive na região de referência localizada a 2500 metros.

Várias composições de resultados para a Análise de Agrupamento foram testadas, indicando que pode existir um terceiro grupo, o qual seria definido em grande parte pelas estações amostrais com menor afastamento do centróide, todas observadas no MD2 (Figura 5.4, gráfico 2). O Cluster 2 (Fig 5.4), formado pelas estações que apresentaram uma maior dispersão das demais estações, não parece ter uma relação direta com a presença de elementos químicos como TPH, nem com a presença de elementos físicos como os cuttings (Tabela 5.1).

O modelo de Regressão Múltipla mostrou que as variáveis: número de gêneros de Nemátodas (ME\_SG), densidade relativa de fitobentófagos (A2p), gênero Daptonema (daptonema), densidade absoluta de fitobentófagos (A2) e a densidade de Nemátodas (ME\_NNE) explicam significativamente o comportamento dos escores da primeira componente (MDS\_escores\_1) obtidos pela análise *Multidimensional Scaling* (MDS). Este resultado revela-se importante, pois permite as análises do delineamento BACI através das variáveis descritas acima, preservando a informação sobre as mudanças na estrutura de comunidades.

As análises a partir do delineamento BACI utilizando o fator WBF\_NAF revelaram que, o efeito significativo encontrados é devido ao fator cruzeiro (Operação de Amostragem). Este resultado indica que a componente biótica meiofauna altera a sua estrutura no MD2 em relação aos demais cruzeiros MD1 e o MD3, independentemente das regiões de deposição dos fluidos aquosos (WBF) e de fluido não aquoso (NAF).

A análise de variância da estrutura de comunidades muda significativamente no MD2 em toda a região estudada, inclusive nas estações de referência (Tabela 5.1). As médias dos escores da componente 1 (MDS\_escores\_1) em todas as regiões WBF, WBF+NAF, RNA e REF no MD2 são significativamente diferentes das médias do MD1 e do MD3, que não diferem entre si (Fig. 5.12). Este resultado encontra-se respaldado na hipótese de que a mudança ocorrida no MD2 não está associada ao uso do fluido aquoso (WBF) e/ou ao fluido não aquoso (NAF). A hipótese de soterramento provocada pela deposição de lama e cascalho de perfuração também não parece razoável, pois as mudanças ocorreram indistintamente em locais com registros ou sem registros destes indicadores.

Varição natural ou mesmo diferentes fatores que não foram citados, mas que são inerentes à atividade antrópica de perfuração *offshore*, como os fatores físicos (arrasto de correntes, cabos, âncoras entre outros) podem ser os responsáveis pelas mudanças detectadas.

Para a densidade do gênero *Sabatieria*, a região definida com WBF (região que apresentou somente registros de deposição de fluido aquoso) registrou uma densidade média significativamente menor no MD1. No MD2 a densidade média nesta região cresceu, igualando-se às demais regiões. Do MD2 para o MD3 não foram observadas mudanças. Apesar da variabilidade observada em estações amostrais de diferentes regiões do fator Máscara (WBF, RNA, WBF+NAF e REF), o gênero *Sabatieria*, em média, aumentou significativamente após a atividade de perfuração na região definida pelos registros do fluido aquoso (WBF) igualando-se em média às demais regiões (Fig. 5.15).

#### **5.4 Análise da estrutura de comunidades para a macrofauna**

A análise multivariada MDS (Multidimensional Scaling), foi aplicada sobre banco de dados a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades. Desta forma, foi analisado o comportamento conjunto das comunidades macrobênticas. Não foram identificadas mudanças generalizadas ao longo do tempo (MD1, MD2 e MD3). A informação intrínseca à estrutura de comunidades aponta somente um afastamento (dissimilaridade em relação às demais) nos escores MDS em 3 estações amostrais observadas no terceiro cruzeiro (Fig.5.16); isto é, as estações 5, 24 e 36 apresentaram evidências de mudanças na estrutura de comunidades no terceiro cruzeiro (MD3). As

demais estações amostrais, ao longo dos três cruzeiros, mostraram similaridade entre si na estrutura de comunidades (Fig.5.16).

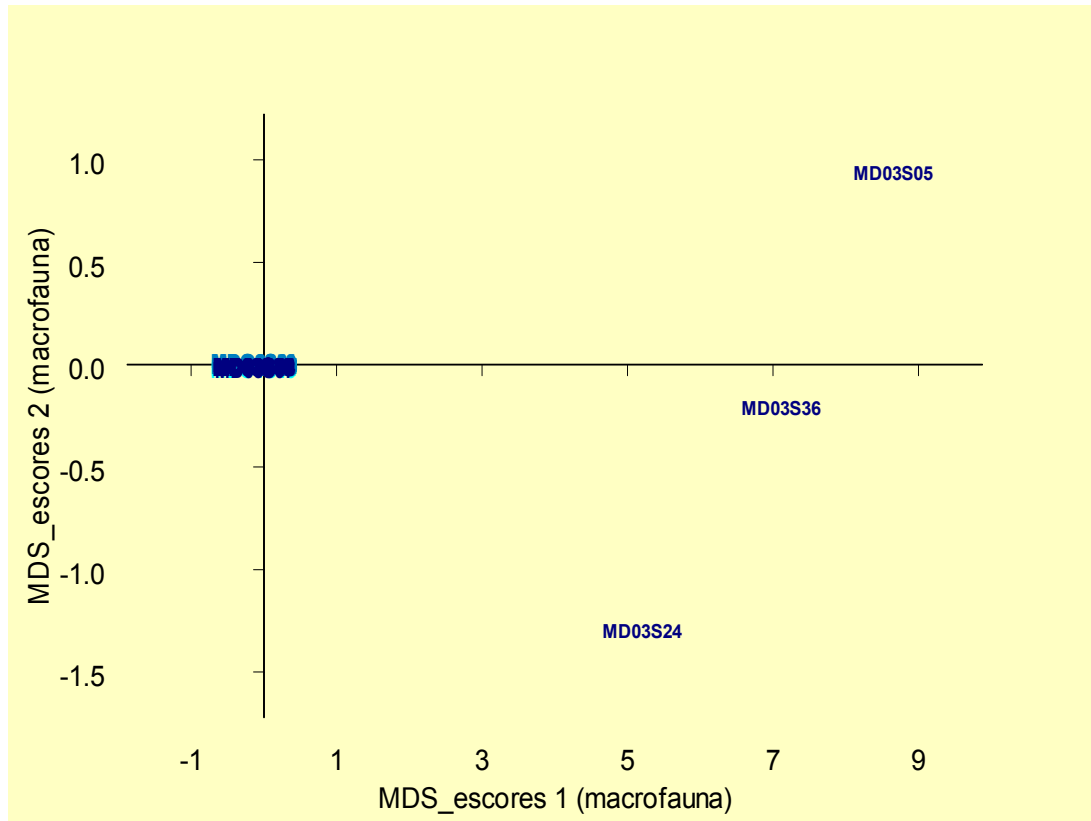


Figura 5.16. Escores da análise MDS (Multidimensional Scaling) a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades da macrofauna bêntica.

A estação número 5 está localizada na região WBF+NAF e as estações 24 e 36 estão localizadas na região onde foram observados somente aumentos de TPH após a perfuração, indicando com isto, que o uso de fluido não aquoso (NAF) pode ter alterado as condições ambientais promovendo uma reestruturação nas comunidades macrobênticas nestes locais (Fig. 5.17, gráfico 2).

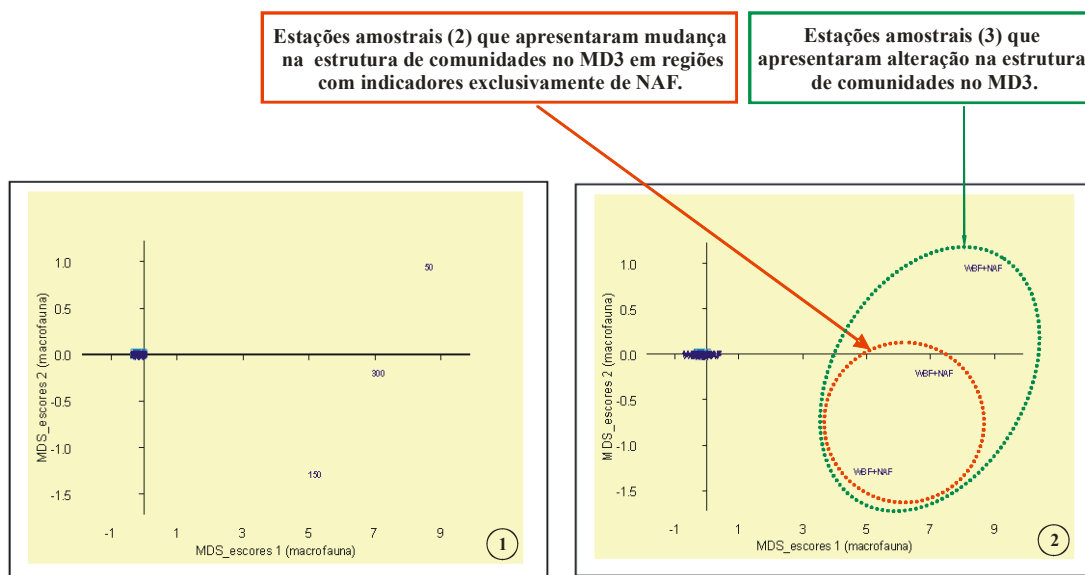


Figura 5.17 - Escores da análise MDS (Multidimensional Scaling) a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades da macrofauna bêntica.

Nota: As estações números 24 e 36 estão localizadas em uma região onde somente foram observados indicadores do uso de fluídos não-aquosos (NAF).

Estes resultados evidenciam que existem indicativos de mudanças espacialmente localizadas na estrutura de comunidades, identificadas um ano após a atividade de perfuração. Entretanto, análises complementares utilizando o delineamento BACI através de uma abordagem univariada permitirão separar os efeitos temporais e espaciais, possibilitando assim a realização de inferência sobre possíveis alterações em alguma região, de acordo com a deposição de fluido e/ou lama e cascalho de perfuração. Ressalta-se que as estações amostrais números 12 e 46, também tiveram somente registro de NAF e não apresentaram mudanças na estrutura da macrofauna possíveis de serem detectadas através desta análise. Posteriormente, a técnica de Análise de Agrupamento (Cluster Analysis) reforçou a hipótese de que as estações 5, 24 e 36 no MD3 (símbolos vermelhos na Fig. 5.17) formam um grupo distinto das demais estações amostrais em relação a composição da estrutura de comunidades.

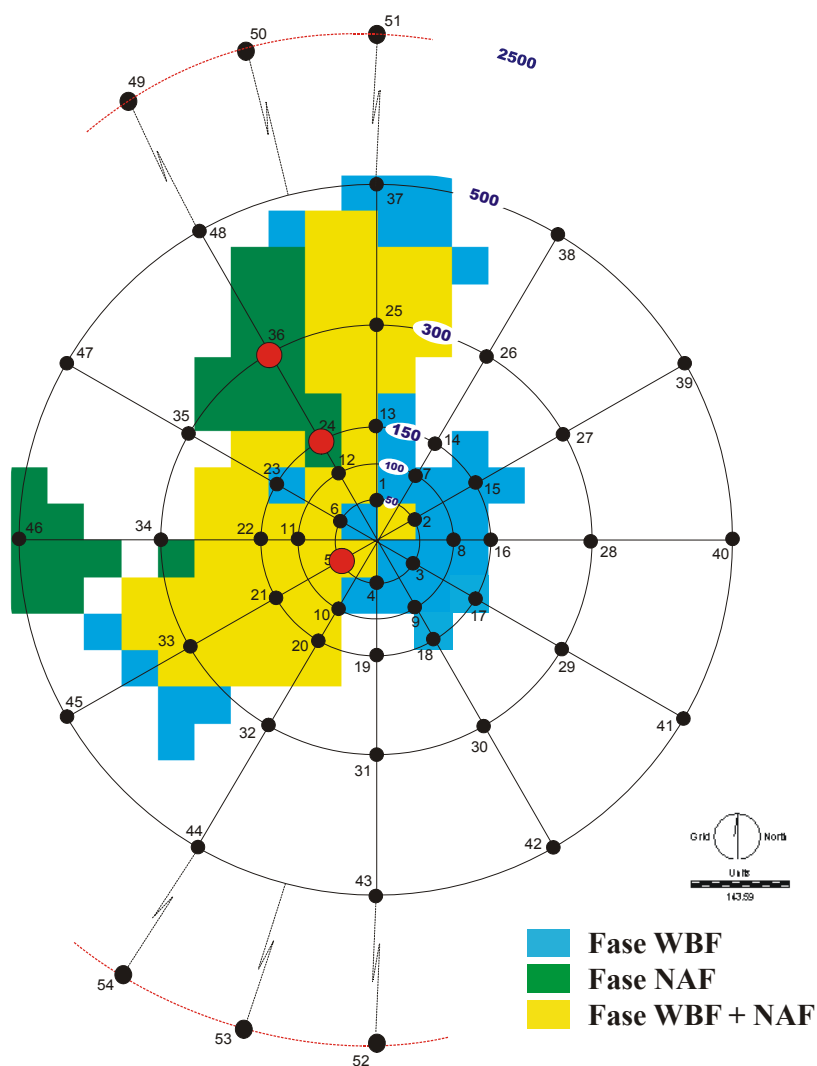


Figura 5.18 - Estações amostrais (Símbolos vermelhos) que apresentaram mudança na estrutura de comunidades no MD3 a partir da matriz de similaridade da estrutura de comunidades e as regiões com registros das diferentes fases de perfuração de acordo com o fluido utilizado.

### 5.5 - Análise de variância considerando o fator WBF\_NAF ao longo do tempo

A hipótese a ser testada é de que não há diferença significativa na variável da macrofauna (SED\_DET) em relação às regiões com registro da atividade de perfuração e aos três cruzeiros MD1, MD2 e MD3 (operações de amostragem).

Tabela 5.9 - Valores das probabilidades do teste ANOVA para a variável da macrofauna SED\_DET considerando como fontes de variação os cruzeiros (OA) e as regiões de deposição dos diferentes fluídos.

Fonte de Variação	GL	SED_DET	<i>transf.</i> $\sqrt[2]{x+1}$
Operação de Amostragem (OA)	2	<0.0001	
Fator WBF_NAF	3	0.7634	
(AO) X WBF_NAF	6	0.0114	

Nota: A tabela inclui as fontes de variação do modelo dado por três (3) cruzeiros e quatro (4) regiões dentro do fator WBF\_NAF. A segunda coluna descreve os graus de liberdade para cada fonte, seguido pelos valores de probabilidade para a variável SED\_DET.

A densidade de Sedentários Detritívoros (SED\_DET) mostrou efeito significativo de interação. Este resultado indica que existe pelo menos uma diferença significativa entre as regiões definidas pelas diferentes fases de perfuração dentro de um dos cruzeiros e/ou diferença de cruzeiros dentro de alguma destas regiões.

A análise de comparações múltiplas de médias, complementar ao teste ANOVA (Tabela 5.10) descreve as diferenças significativas observadas entre as médias para a densidade do grupo trófico Sedentários Detritívoros (SED\_DET).

Tabela 5.10 – Médias dentro dos grupos, resultante da interação Tempo x Fator WBF\_NAF.

		MD1		MD2		MD3			
RNA	A	10.37	a	A	8.19	a	B	17.33	ab
REF	A	11.22	a	A	9.26	a	A	10.75	a
WBF	A	7.64	ab	A	8.58	a	B	15.65	a
WBF+NAF	A	6.79	b	A	6.20	a	B	24.09	b

Obs: Letras maiúsculas comparam médias dentro de linhas. Letras minúsculas comparam médias dentro de colunas.(Médias destransformadas).

No primeiro cruzeiro (MD1) a região não alterada (RNA) e região referência (REF) diferem significativamente da região WBF+NAF. A região WBF encontra-se em uma posição intermediária não apresentando diferença das demais médias (Fig 5.21, elipses vermelhas). A menor densidade de Sedentários Detritívoros (SED\_DET) no primeiro cruzeiro (MD1) foi observada na região WBF+NAF. Uma variação aparentemente intrínseca ao meio ambiente promoveu uma homogeneidade espacial observada no segundo cruzeiro (MD2) (Fig. 5.19, elipse cinza). A região de referência (REF) não apresentou mudanças significativas ao longo do tempo. No entanto, toda área localizada no raio de 500 metros em torno do poço e subdividida em WBF, RNA e WBF+NAF mostraram aumento da densidade de Sedentários Detritívoros (SED\_DET) no terceiro cruzeiro (MD3).

A região não alterada (RNA) registra um aumento da densidade no terceiro cruzeiro (MD3) de aproximadamente sessenta e sete por cento (67%) em relação ao primeiro cruzeiro (MD1). A região de referência (REF) mostrou um decréscimo de aproximadamente quatro por cento (- 4%) (não foi constatada diferença significativa entre as médias da região de referência). A região definida pelo uso de fluídos base água (WBF) mostrou um aumento de aproximadamente cento e cinco por cento (105%) no mesmo período. Neste contexto, o maior aumento da densidade de Sedentários Detritívoros (SED\_DET), no raio de 500 metros, aconteceu na região WBF+NAF caracterizada pelo depósito de material proveniente das diferentes fases de perfuração, incluindo o fluido não-aquoso (Fig. 5.21, círculo azul). Nesta região, o aumento médio constatado no mesmo período foi de aproximadamente duzentos e cinquenta e cinco por cento (255%). Ressalta-se que, dentro do MD3, a região WBF difere significativamente da região WBF+NAF ( $p= 0.0399$ ), enquanto que a região não alterada (RNA) não difere significativamente da região WBF+NAF ( $p=0.0689$ ).

A baixa variação nas médias no período compreendido entre o MD1 e o MD2 em todas as regiões de estudo indica que a atividade antrópica no local não alterou a distribuição da densidade de Sedentários Detritívoros (SED\_DET) um (1) meses após o término das atividades.

Mudanças significantes foram observadas posteriormente (MD3) e podem ser atribuídas, em parte, ao efeito do NAF sobre a região WBF+NAF. Simultaneamente, mudanças menos intensas ocorreram na região WBF e RNA, contrastando com uma



estabilidade ao longo do tempo na densidade de Sedentários Detritívoros (SED\_DET) na região de referência (REF).

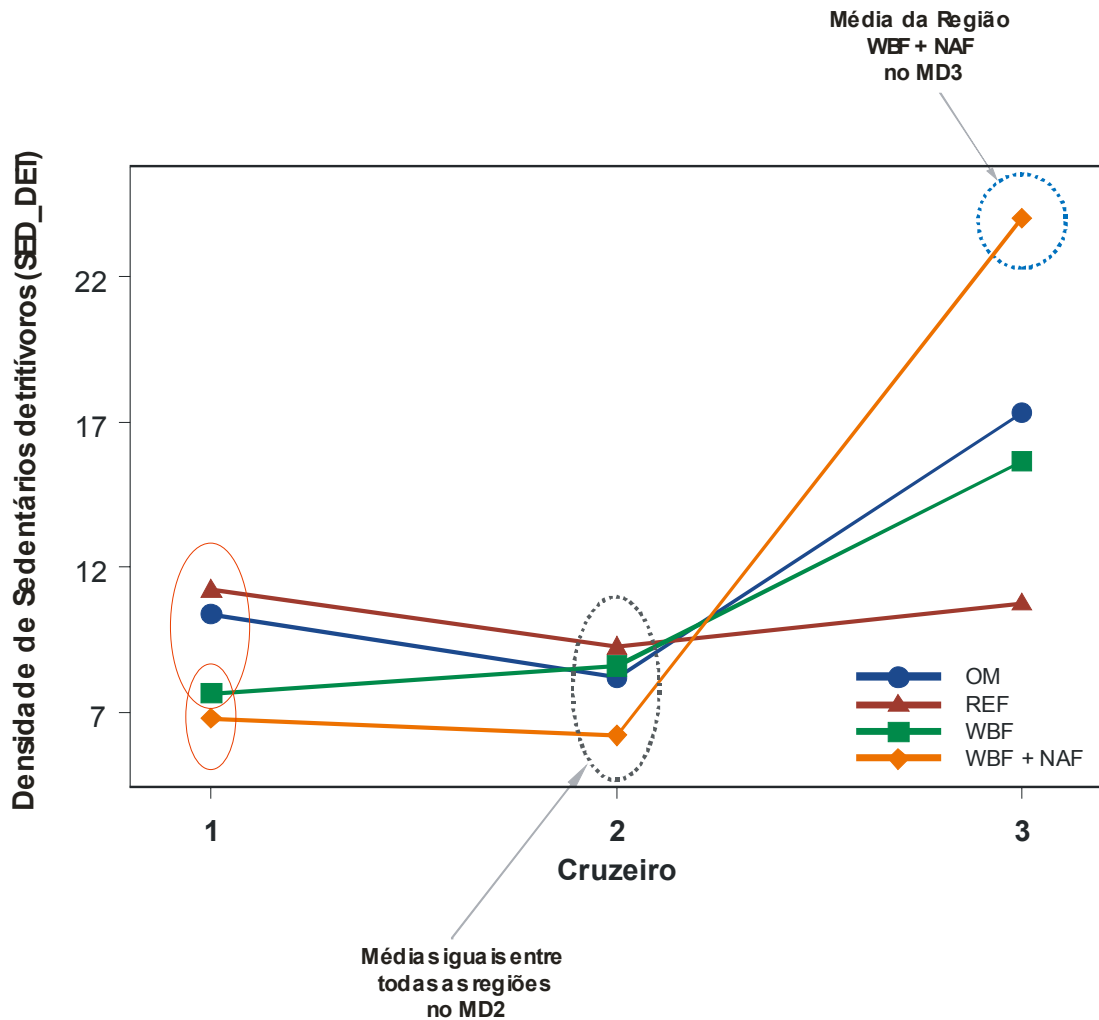


Figura 5.19. Gráfico de perfis das médias da interação tempo x WBF+NAF para a densidade de sedentários Detritívoros (SED\_DET) (Médias destransformadas).

A Figura 5.20 descreve a distribuição espacial da densidade de Sedentários Detritívoros (SED\_DET) ao longo do tempo: (1) no MD1 e (2) no MD2 quando a densidade média nas diferentes regiões permanece inalterada. Na terceira ocasião MD3 (Fig 5.22 (3)) observamos que a densidade média aumenta em todas as regiões no raio de 500 metros em especial na região WBF+NAF. A Figura 5.23 mostra que o incremento na densidade de Sedentários Detritívoros na região WBF+NAF ocorre com maior intensidade

nas estações amostrais caracterizadas por apresentarem somente indícios de TPH, oriundos exclusivamente da fase de perfuração com fluidos não-aquosos (NAF)

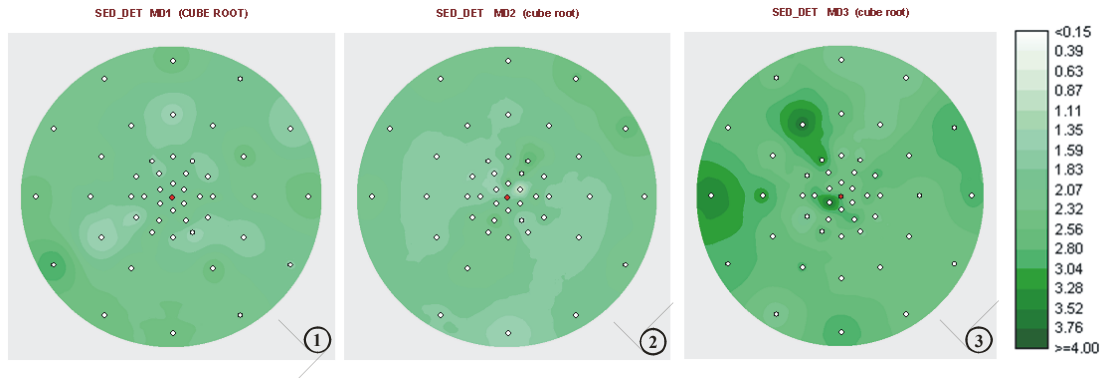


Figura 5.20 – Geoestatística da variável SED\_DET (Grupo trófico Sedentários Detritívoros). Nota: Transformação aplicada – Raiz cúbica.

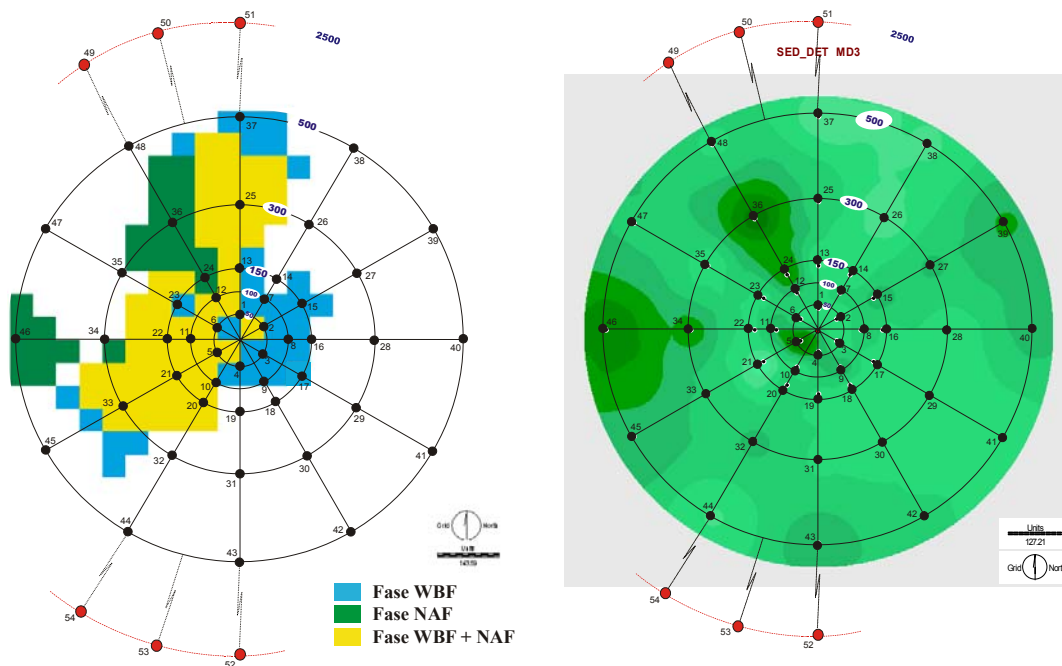


Figura 5.21 - Diferentes regiões do Fator WBF\_NAF (1). Geoestatística da raiz cúbica da densidade do Grupo trófico Sedentários Detritívoros (SED\_DET)(2)

As regiões indicadas pela cor verde na Figura 5.21(1) correspondem aos locais onde foram observados somente indícios de aumento nas concentrações de TPH (*Total Petroleum*

*Hydrocarbon*). Observando a Figura 5.21(2) nota-se que o aumento da densidade de sedentários detritívoros acontece justamente em estações localizadas na região exclusivamente alterada pela fase que utilizou o fluido não aquosos (NAF).

### **5.6 Resultados sobre a variável SED\_DET (Sedentários Detritívoros)**

As análises realizadas a partir do banco de dados da estrutura de comunidades detectaram três (3) estações amostrais (5, 24 e 36) que possivelmente apresentam características similares entre si no terceiro cruzeiro (MD3). Nenhuma informação adicional foi possível ser observada a partir da matriz de similaridades. Foi empregado o modelo detalhado no capítulo 2.4 (ANOVA , Modelos mistos, PROC MIXED, SAS Institute Inc. 1999-2001) a partir do delineamento BACI, com o objetivo de avaliar os efeitos nas diferentes regiões definidas a partir dos indicadores do fluido de perfuração.

Os resultados da ANOVA (Análise de Variância) apontaram efeito significativo de interação para a densidade de Sedentários Detritívoros (SED\_DET). As análises complementares revelaram, o que talvez seja a informação mais relevante, na ótica ambiental, que seria a direção do real impacto do uso de fluido não-aquoso (NAF) sobre as comunidades macro bênticas no local do estudo. A densidade do grupo trófico Sedentários Detritívoros aumenta em toda a região compreendida pelo raio de 500 metros. As estações de referência permanecem em média, inalteradas ao longo do tempo. O aumento observado do segundo cruzeiro (MD2) para o terceiro cruzeiro (MD3) se dá de forma mais intensa na região WBF+NAF. Uma subdivisão nesta região aponta que os maiores aumentos pontuais observados ocorrem justamente nas estações amostrais alteradas pelo uso do NAF (Fig 5.21).

## 6. DISCUSSÃO

Os resultados utilizando a estratégia para isolar as componentes de variação espaço-temporal a partir do delineamento BACI, associadas ou não às diferentes fases da atividade de perfuração, remeteram para as possíveis alterações ambientais observadas, decorrentes do uso de fluídos não-aquosos (NAF). A contribuição conjunta dos indicadores da atividade, como o Bário (Ba) e mesmo os cascalhos de perfuração (*cuttings*) de origem não discriminável em relação aos diferentes fluídos, delineou uma situação permanente de intenso confundimento. A possibilidade de separar estes efeitos, o que foi feito através da estratégia WBF\_NAF, demonstrou ser uma estratégia eficiente para apontar os reais efeitos das mudanças relacionadas ao uso do NAF principalmente nas análises dos resultados da macrofauna bêntica. A estratégia que separa as diferentes regiões WBF\_NAF direcionou as análises não só quando comparamos as diferentes médias destas regiões para as variáveis de fauna, mas foi importante também para entender as inter-relações entre as diferentes variáveis estudadas em todas as fases de análise estatística.

A metodologia adotada (Geoestatística Bayesiana) para definir a região espacialmente alterada permite diversas análises complementares não discutidas neste trabalho. Análises complementares podem ser implementadas através da modelagem Bayesiana tendo como resposta as variáveis das comunidades bentônicas.

Assim é possível responder com mais precisão, questões ligadas diretamente à atividade de exploração e produção de petróleo e o real impacto resultante sobre o meio-ambiente.

Os grupos de estações amostrais definidos pelo método proposto no Capítulo 3 atenderam de forma satisfatória as necessidades e suposições impostas pelos métodos de modelo mistos definido no Capítulo 2.5 e empregado posteriormente no Capítulo 5.

No entanto, imaginando um cenário oposto, e muitas vezes real, a necessidade de recuperar dados perdidos para posterior implementação de um segundo modelo pode ser realizada através dos métodos utilizados no decorrer do capítulo 4. Simultaneamente a definição da região de interesse pode ser fundamentada em critérios estatísticos.

## **6.1 Resultados ambientais interpretados a partir das variáveis utilizadas como exemplo no Capítulo 5.**

As três (3) variáveis utilizadas para exemplificar o procedimento de teste dos efeitos a partir do Fator WBF\_NAF mostraram resultados distintos.

No primeiro caso, a variável ME\_SG mostrou efeito principal de cruzeiro. Este resultado indica que houve alteração no MD2, em todas as regiões do fator WBF\_NAF (RNA, WBF, WBF+NAF, REF). Estas mudanças independem das diferentes regiões avaliadas, ou seja as mudanças não parecem ter relação direta com a atividade de perfuração.

No segundo caso, a variável Sabatieria, mostrou efeito de interação. Assim alguma diferença observada ao longo do tempo depende diretamente da definição das regiões do fato WBF\_NAF. As análises complementares mostraram que as mudanças ocorridas poderiam ser decorrentes de alguma mudança física no sedimento, neste caso associado à fase WBF ou mais provavelmente a uma variação natural intrínseca ao ambiente.

No terceiro caso a variável SED\_DET (Sedentários Detritívoros), analogamente à variável Sabatieria, mostrou efeito de interação. As análises complementares permitiram associar as mudanças observadas à atividade de perfuração com o uso de fluido não aquoso (NAF).

Parece pouco provável que as mudanças observadas na variável ME\_SG possam ser atribuídas ao uso dos diferentes fluidos de perfuração e/ou de deposição de lama e cascalho de perfuração. Variáveis explicativas da estrutura de comunidades da meiofauna (por exemplo, MDS\_escores\_1 e ME\_SG) mostraram mudanças em toda a região estudada, independentemente das diferentes regiões definidas pelos usos de fluido aquoso (WBF) e não-aquoso (WBF+NAF), definidas de acordo com a Estratégia WBF\_NAF.

Estas mudanças podem decorrer de fatores não investigados ou mesmo de variações naturais evidenciadas pelas mudanças ocorridas nas estações de referência.

Medidas univariadas comprovadamente informativas sobre as comunidades meiobentônicas novamente confirmaram efeito de cruzeiro, ressaltando assim a diferença do MD2 em relação aos demais cruzeiros MD1 e MD3, independentemente do fator WBF\_NAF.

O gênero *Sabatieria* teve em média, aumento significativo após a atividade de perfuração na região WBF. Esta região registrou uma média menor que as demais regiões no primeiro cruzeiro. A partir do aumento na região WBF, as médias de todas as regiões igualaram-se estatisticamente tanto no segundo cruzeiro como no terceiro cruzeiro. Assim, estes resultados remetem para duas possíveis causas do efeito observado: é possível que uma provável alteração física do sedimento possa ter promovido condições especiais para o desenvolvimento do gênero *Sabatieria* em uma região onde era esperada uma densidade naturalmente mais baixa, ou no outro caso, uma variação natural do ambiente induzida pelo registro de duas estações amostrais com densidade zero no MD1 dentro da região WBF.

Ressalta-se que posteriormente (MD2 e MD3) foram observadas estações amostrais com densidade zero em locais sem registro dos indicadores de perfuração revelando, desta forma, um fenômeno natural na região estudada.

Dentre as variáveis utilizadas para a macrofauna bêntica, o grupo trófico Sedentários Detrívoro (SED\_DET) registrou mudanças pontuais na estrutura trófica. As alterações ocorrem com maior intensidade em estações que apresentaram somente indícios do uso de fluido não-aquoso (NAF) (Fig.5.18). As estações números 5, 24 e 36 registraram simultaneamente, no terceiro cruzeiro (MD3), a dominância de organismos oportunistas e a redução na diversidade. Estas estações amostrais foram identificadas anteriormente através das análises de Escalonamento Multidimensional, MDS (*Multidimensional Scaling*) e Agrupamento (*Cluster Analysis*), por apresentarem alterações na estrutura de comunidades (Fig 5.16). Estes resultados observados nas estações números 24 e 36 estão relacionados direta ou indiretamente à contaminação química proveniente do uso de fluido não-aquoso (NAF). Em uma relação indireta aludem-se mudanças na química do sedimento provocada pelo enriquecimento orgânico (*Mairs et al, 2000*).

Com base nos resultados, conclui-se que o uso de fluido não-aquoso (NAF) teve algum efeito causador de impacto sobre a macrofauna bêntica em pontos isolados, compreendendo uma pequena amplitude espacial, particularmente em quatro estações amostrais (Fig 5.18), três das quais apresentando somente registros de NAF. A estação amostral número 5 registrou simultaneamente mudança no TPH e deposição de cascalho de perfuração (*cuttings*). Apesar do desconhecimento da origem do cascalho de perfuração em relação à fase de perfuração do poço (WBF ou NAF), na estação amostral número 5 é

possível acreditar-se que as mudanças observadas sobre a estrutura de comunidades, em particular nos grupos tróficos, decorrem do mesmo agente causador.

## 7. BIBLIOGRAFIA

Box, G.E.P. and Cox, D.R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society B*, 26, 211-243.

Carroll, R.J. and Ruppert, D (1982). A comparison between maximum likelihood and generalized least squares in a heteroscedastics linear model. *Journal of the American Statistical Association*, 77, 878-882.

Clark I.(2000) *Practical Geostatistics*. Ecosse North America Llc, Colombus Ohio, USA.

Clarke, K.R. and Warwick, R.M.( 1994). *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Plymouth Marine Laboratory. Natural Environment Research Council, UK

Cressie, N and Hawkins, D.M. (1980). Robust estimation of the variogram, I. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 12, 115-125.

Cressie, N. (1991). Modeling growth with random sets. In Possolo, A (Ed.) *Spatial Statistics and Imaging. Lecture Notes-Monograph Series*, Vol. 20. Institute of Mathematical Statistics, Hayward, CA, 31-45.

Cressie, N. (1991). *Statistics for Spatial Data*. New York: John Wiley & Sons.

Diggle, P.J. and Ribeiro Jr, P.J. (2000). *Model Based Geostatistics*. 14° SINAPE, Associação Brasileira de Estatística – ABE.

Eastman J.R. (1999). *Guide to GIS and Image Processing*. Volume 2, Idrisi32® Release 2. Worcester :Clark University, USA.

Gujarati D.N. (2000). *Econometria Básica*. 3° Edição. São Paulo: Makron Books Ltda



Johnson R.A. and Wichern D.W. (1999). *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 4<sup>th</sup> Ed  
New Jersey: Prentice Hall

Journel, A.G. and Huijbregts, C.J. (1978). *Mining Geostatistics*. London: Academic Press,

Kitandis, P. K. and Vomvoris, E.G. (1983). A geostatistical approach to the inverse problem in groundwater modeling (steady state) and one dimensional simulations. *Water Resources Research*, 19, 677-690.

Lindgren, B.W. (1976). *Statistical Theory*, 3rd ed., New York: MacMillan.

Mairs, H., Smith, J., Melton, R., Pasmore, J and Maruca, S. (2000). *Efeitos Ambientais dos Cascalhos Associados a Fluidos Não-aquosos: Fundamentos Técnicos*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo.

Mardia, K.V. and Marshall, R.J. (1984). Maximum Likelihood Estimation of Models for Residual Covariance in Spatial Regression. *Biometrika*, 71,135-146.

Matheron, G. (1962). *Traite de Geostatistique Appliquée*, Tome I. *Memoires du Bureau de Recherches Geologiques et Minières*, No. 14, Editions Technip, Paris.

Matheron, G. (1963). Principles of Geostatistics. *Economic Geology*, 58, 1246-1266.

Matheron, G. (1971). The Theory of Regionalized Variables and Its Applications. *Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique*, No.5, Fontainebleau, France.

Montagna, P. A and Harper, D.E. (1996). Benthic infaunal long-term response to offshore production platforms in the Gulf of Mexico. *Canadian Journal Fish. Aquatic. Science*, 53: 2567-2588.

Montgomery, D.C.(1997). *Design and Analysis of Experiments*. 4<sup>th</sup> Ed. New York: John Wiley & Sons

Patterson, H.D. and Thompson, R. (1971). Recovery of interblock information when block sizes are unequal. *Biometrika*, 58, 545-554.

R Reference Index. *Manual de Referência do Software R*, versão 1.3.0. (2001).

Riboldi, J., Pretto, K., Feyh, M.H. e Boffo, G. (2002). SAS Versão 8.2: Modelos Mistos e Medidas Repetidas. *Cadernos de Matemática e Estatística, Série B, N°64*. Instituto de Matemática. UFRGS.

Rosenbaltt, M. (1985). *Stationary Sequences and Random Fields*. Birkhauser, Boston.

Sampson, P.D. and Guttorp, P. (1991). Power Transformation and Tests of Environmental Impact as Interaction Effects. *The American Statistician*, 45 (2), 83-89.

Stewart-Oaten, A., Murdoch, W.W. and Parker, K.R. (1986). Environmental Impact Assessment: “Pseudoreplication” in Time? *Ecology*, 67(4), 929-940.

Warwick, R.M. (1988). The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities. *Marine Pollution Buletin*, 19: 250-268

Warwick, R.M. (1993). Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations. *Australian Journal of Ecology*, 18 :63-80

Wiens, J.A. and Parker, K.P. (1995). Analysing the effects of accidental environmental impacts: approaches and assumptions. *Ecological Applications*, 5(4), 1069-1083.

## 8. ANEXO

Tabela 8.1 Valores preditos pelo modelo para as localidades observadas através das estações amostrais de acordo com a Figura 2.1.1 (a) referente a variável TPH (ppm) (*Total Petroleum Hydrocarbon*)

Estações amostrais	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	corde	amostras
S[1]	1.848	0.9205	0.01303	0.03187	1.847	3.7	501	4500
S[2]	8.126	0.934	0.01398	6.258	8.13	9.956	501	4500
S[3]	1.682	0.9141	0.01416	-0.1233	1.68	3.507	501	4500
S[4]	1.834	0.9064	0.01543	0.06047	1.826	3.671	501	4500
S[5]	6.981	0.9896	0.03926	5.034	6.973	8.867	501	4500
S[6]	1.794	0.8918	0.01532	0.007499	1.777	3.605	501	4500
S[7]	1.693	0.9051	0.01354	-0.08648	1.701	3.493	501	4500
S[8]	1.452	0.8997	0.01421	-0.3455	1.465	3.219	501	4500
S[9]	1.325	0.8947	0.01758	-0.4419	1.349	3.062	501	4500
S[10]	1.639	0.895	0.01506	-0.1625	1.641	3.451	501	4500
S[11]	1.746	0.8973	0.01562	0.0065	1.843	3.235	501	4500
S[12]	8.347	0.9225	0.01408	6.5	8.333	10.2	501	4500
S[13]	1.954	0.8962	0.01679	0.1658	1.957	3.715	501	4500
S[14]	1.462	0.9076	0.01473	-0.3578	1.473	3.269	501	4500
S[15]	1.281	0.9273	0.01723	-0.5932	1.303	3.123	501	4500
S[16]	1.482	0.888	0.01245	-0.2922	1.485	3.252	501	4500
S[17]	2.119	0.918	0.02118	0.3	2.112	3.977	501	4500
S[18]	1.887	0.9066	0.01718	0.152	1.88	3.666	501	4500
S[19]	1.529	0.9262	0.01622	-0.3351	1.536	3.359	501	4500
S[20]	8.735	0.9347	0.02116	6.911	8.72	10.61	501	4500
S[21]	11.13	1.242	0.0952	8.25	11.27	13.26	501	4500
S[22]	8.61	0.946	0.02066	6.726	8.593	10.45	501	4500
S[23]	1.806	0.9106	0.01166	-0.006629	1.789	3.607	501	4500
S[24]	9.328	0.9734	0.03687	7.477	9.333	11.28	501	4500
S[25]	9.939	1.065	0.05972	7.826	9.98	11.95	501	4500
S[26]	1.479	0.9224	0.0159	-0.3556	1.496	3.306	501	4500
S[27]	1.269	0.907	0.0177	-0.5076	1.287	3.103	501	4500
S[28]	2.106	0.9315	0.02357	0.3429	2.082	3.918	501	4500
S[29]	1.197	0.9159	0.01891	-0.6865	1.228	2.977	501	4500
S[30]	1.276	0.9194	0.01582	-0.598	1.286	3.062	501	4500
S[31]	1.955	0.924	0.01763	0.1376	1.965	3.785	501	4500
S[32]	7.303	0.9646	0.0319	5.357	7.311	9.176	501	4500
S[33]	2.259	0.9447	0.02419	0.3917	2.234	4.14	501	4500
S[34]	1.671	0.9078	0.0137	-0.07191	1.668	3.474	501	4500
S[35]	8.318	0.9228	0.01485	6.506	8.317	10.16	501	4500
S[36]	6.153	1.076	0.06041	4.125	6.101	8.344	501	4500
S[37]	1.552	0.9152	0.01349	-0.2837	1.552	3.408	501	4500
S[38]	1.584	0.9113	0.01282	-0.2304	1.587	3.403	501	4500
S[39]	1.412	0.9065	0.01424	-0.3995	1.426	3.171	501	4500
S[40]	1.526	0.9208	0.01444	-0.2863	1.518	3.317	501	4500
S[41]	1.43	0.9126	0.01454	-0.4429	1.452	3.192	501	4500
S[42]	1.647	0.9001	0.01317	-0.1103	1.654	3.417	501	4500
S[43]	1.424	0.9158	0.01533	-0.3788	1.45	3.184	501	4500
S[44]	1.219	0.9067	0.01673	-0.5498	1.222	2.995	501	4500
S[45]	7.612	0.9508	0.02186	5.764	7.602	9.478	501	4500
S[46]	1.855	0.9074	0.01613	0.07315	1.828	3.751	501	4500
S[47]	1.534	0.9064	0.01455	-0.2052	1.55	3.359	501	4500

Tabela 8.2 Valores correspondentes ao efeito espacial predito pelo modelo para os 352 pixels definidos na Figura 4.1 referente a variável

TPH (ppm) (*Total Petroleum Hydrocarbon*)

Pixel	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	corte	amostras
spatial[1]	-0.04503	1.295	0.03044	-2.564	-0.08822	2.508	501	4500
spatial[2]	-0.08271	1.266	0.0312	-2.55	-0.1255	2.462	501	4500
spatial[3]	-0.04821	1.27	0.03315	-2.524	-0.06849	2.48	501	4500
spatial[4]	-0.1217	1.266	0.03049	-2.625	-0.1614	2.48	501	4500
spatial[5]	-0.2763	1.318	0.03198	-2.77	-0.2977	2.399	501	4500
spatial[6]	-0.3373	1.292	0.02785	-2.824	-0.3373	2.312	501	4500
spatial[7]	-0.1071	1.295	0.03226	-2.607	-0.1098	2.448	501	4500
spatial[8]	-0.06833	1.281	0.03235	-2.519	-0.1006	2.437	501	4500
spatial[9]	-0.06484	1.314	0.03283	-2.588	-0.1039	2.593	501	4500
spatial[10]	-0.0548	1.281	0.03136	-2.475	-0.07691	2.584	501	4500
spatial[11]	-0.06911	1.29	0.02985	-2.556	-0.08418	2.559	501	4500
spatial[12]	-0.04092	1.289	0.03233	-2.49	-0.07934	2.583	501	4500
spatial[13]	-0.04265	1.232	0.02856	-2.429	-0.08198	2.525	501	4500
spatial[14]	-0.05706	1.283	0.02992	-2.57	-0.1069	2.478	501	4500
spatial[15]	-0.04708	1.279	0.0318	-2.546	-0.09557	2.559	501	4500
spatial[16]	-0.1011	1.272	0.03152	-2.564	-0.1321	2.434	501	4500
spatial[17]	-0.1125	1.278	0.03206	-2.557	-0.1535	2.544	501	4500
spatial[18]	-0.09083	1.275	0.03344	-2.602	-0.1091	2.51	501	4500
spatial[19]	-0.08531	1.302	0.03068	-2.571	-0.1154	2.489	501	4500
spatial[20]	-0.05092	1.271	0.0321	-2.503	-0.08732	2.434	501	4500
spatial[21]	-0.08092	1.285	0.03159	-2.557	-0.1107	2.52	501	4500
spatial[22]	-0.07901	1.265	0.03214	-2.539	-0.08615	2.432	501	4500
spatial[23]	-0.05608	1.289	0.03263	-2.535	-0.09527	2.522	501	4500
spatial[24]	-0.04363	1.284	0.03035	-2.496	-0.09737	2.508	501	4500
spatial[25]	-0.01713	1.279	0.03205	-2.538	-0.06618	2.539	501	4500
spatial[26]	-0.05707	1.268	0.02919	-2.495	-0.1019	2.492	501	4500
spatial[27]	-0.01617	1.277	0.03106	-2.472	-0.07225	2.614	501	4500
spatial[28]	-0.04122	1.275	0.02921	-2.548	-0.08895	2.51	501	4500
spatial[29]	-0.0322	1.271	0.02965	-2.492	-0.0477	2.507	501	4500
spatial[30]	-0.03656	1.288	0.03293	-2.535	-0.06927	2.623	501	4500
spatial[31]	-0.03269	1.28	0.03067	-2.495	-0.04363	2.481	501	4500
spatial[32]	-0.0364	1.276	0.03097	-2.492	-0.05348	2.544	501	4500
spatial[33]	-0.02542	1.268	0.03232	-2.468	-0.05247	2.529	501	4500
spatial[34]	-0.07771	1.283	0.02972	-2.584	-0.08794	2.52	501	4500
spatial[35]	-0.04891	1.287	0.03218	-2.504	-0.07191	2.557	501	4500
spatial[36]	-0.09061	1.278	0.03157	-2.532	-0.1371	2.483	501	4500
spatial[37]	-0.04223	1.256	0.03248	-2.522	-0.04013	2.452	501	4500
spatial[38]	-0.07531	1.28	0.03078	-2.596	-0.1006	2.463	501	4500
spatial[39]	-0.03998	1.257	0.03143	-2.53	-0.05841	2.445	501	4500
spatial[40]	-0.01129	1.299	0.03259	-2.528	-0.01383	2.636	501	4500
spatial[41]	-0.04653	1.314	0.03043	-2.551	-0.09205	2.639	501	4500
spatial[42]	-0.00430	1.271	0.02902	-2.471	-0.04205	2.566	501	4500
spatial[43]	-0.03015	1.297	0.02879	-2.567	-0.07597	2.622	501	4500
spatial[44]	-0.05862	1.269	0.0274	-2.518	-0.08587	2.488	501	4500
spatial[45]	-0.0623	1.276	0.02989	-2.531	-0.08951	2.457	501	4500
spatial[46]	-0.00218	1.271	0.02922	-2.441	-0.04597	2.528	501	4500
spatial[47]	-0.02524	1.271	0.0329	-2.419	-0.04654	2.448	501	4500
spatial[48]	-0.01521	1.28	0.03056	-2.542	-0.03779	2.56	501	4500
spatial[49]	0.04098	1.271	0.03341	-2.442	0.04364	2.509	501	4500
spatial[50]	0.04664	1.285	0.03081	-2.448	0.02505	2.641	501	4500
spatial[51]	-0.02938	1.259	0.03099	-2.399	-0.07269	2.581	501	4500
spatial[52]	-0.04002	1.269	0.03009	-2.461	-0.0685	2.532	501	4500
spatial[53]	-0.02979	1.268	0.03114	-2.411	-0.07676	2.612	501	4500
spatial[54]	-0.02284	1.288	0.03255	-2.565	-0.05421	2.564	501	4500
spatial[55]	-0.07655	1.282	0.03245	-2.588	-0.1066	2.454	501	4500
spatial[56]	-0.05357	1.278	0.02971	-2.447	-0.08367	2.538	501	4500
spatial[57]	-0.08158	1.255	0.02991	-2.625	-0.05699	2.314	501	4500
spatial[58]	-0.07555	1.268	0.03021	-2.489	-0.1064	2.462	501	4500
spatial[59]	-0.01452	1.266	0.02857	-2.471	-0.03473	2.561	501	4500
spatial[60]	-0.05235	1.28	0.03015	-2.577	-0.04252	2.453	501	4500
spatial[61]	-0.00771	1.23	0.03079	-2.345	-0.031	2.459	501	4500
spatial[62]	-0.03761	1.275	0.03179	-2.461	-0.08075	2.473	501	4500
spatial[63]	-0.04281	1.275	0.02739	-2.579	-0.05564	2.534	501	4500
spatial[64]	-0.01446	1.258	0.03069	-2.469	-0.0297	2.486	501	4500
spatial[65]	-0.03102	1.251	0.0281	-2.489	-0.07242	2.467	501	4500
spatial[66]	-0.0218	1.273	0.031	-2.444	-0.06161	2.592	501	4500
spatial[67]	0.1638	1.312	0.03484	-2.411	0.1476	2.72	501	4500

spatial[68]	0.1754	1.281	0.03497	-2.347	0.1485	2.785	501	4500
spatial[69]	-0.04504	1.272	0.02861	-2.454	-0.09152	2.506	501	4500
spatial[70]	-0.03894	1.278	0.03015	-2.614	-0.05872	2.536	501	4500
spatial[71]	-0.0667	1.269	0.03179	-2.559	-0.1022	2.472	501	4500
spatial[72]	-0.03563	1.289	0.03513	-2.555	-0.05998	2.532	501	4500
spatial[73]	-0.05764	1.26	0.03015	-2.52	-0.09259	2.484	501	4500
spatial[74]	-0.06698	1.259	0.03188	-2.55	-0.0866	2.394	501	4500
spatial[75]	-0.06752	1.275	0.03017	-2.545	-0.08605	2.452	501	4500
spatial[76]	-0.0509	1.259	0.03046	-2.48	-0.06961	2.429	501	4500
spatial[77]	-0.02617	1.272	0.03048	-2.522	-0.07225	2.478	501	4500
spatial[78]	0.02774	1.236	0.03319	-2.372	0.001879	2.551	501	4500
spatial[79]	-0.01487	1.272	0.0294	-2.469	-0.03373	2.515	501	4500
spatial[80]	-0.04244	1.262	0.02944	-2.466	-0.07719	2.503	501	4500
spatial[81]	-0.01157	1.25	0.02722	-2.456	-0.03431	2.546	501	4500
spatial[82]	-0.02351	1.288	0.02988	-2.505	-0.06647	2.632	501	4500
spatial[83]	-0.009692	1.268	0.02916	-2.529	-0.02224	2.571	501	4500
spatial[84]	0.02564	1.272	0.02848	-2.436	-0.01334	2.559	501	4500
spatial[85]	-5.809E-4	1.285	0.0288	-2.491	-0.028	2.574	501	4500
spatial[86]	0.01701	1.291	0.03005	-2.504	0.007032	2.634	501	4500
spatial[87]	0.04618	1.264	0.03114	-2.365	0.0139	2.508	501	4500
spatial[88]	-0.0533	1.271	0.03144	-2.498	-0.08547	2.534	501	4500
spatial[89]	-0.05638	1.265	0.02875	-2.551	-0.09346	2.519	501	4500
spatial[90]	-0.03787	1.258	0.03139	-2.469	-0.07091	2.528	501	4500
spatial[91]	-0.0376	1.258	0.03066	-2.408	-0.07867	2.471	501	4500
spatial[92]	-0.03946	1.259	0.03068	-2.503	-0.06894	2.529	501	4500
spatial[93]	-0.05203	1.266	0.03261	-2.548	-0.07662	2.396	501	4500
spatial[94]	-0.05142	1.242	0.03116	-2.506	-0.06893	2.379	501	4500
spatial[95]	-0.06509	1.253	0.02894	-2.535	-0.08128	2.512	501	4500
spatial[96]	-0.04393	1.268	0.03388	-2.531	-0.07055	2.48	501	4500
spatial[97]	-0.01283	1.253	0.03034	-2.449	-0.03101	2.495	501	4500
spatial[98]	-0.03393	1.254	0.02959	-2.447	-0.05451	2.402	501	4500
spatial[99]	-0.01698	1.266	0.02993	-2.506	-0.05834	2.507	501	4500
spatial[100]	-0.02805	1.299	0.03145	-2.531	-0.05149	2.539	501	4500
spatial[101]	-0.004962	1.29	0.0314	-2.525	-0.03983	2.626	501	4500
spatial[102]	-0.04759	1.239	0.0277	-2.453	-0.08808	2.468	501	4500
spatial[103]	-0.02618	1.247	0.02933	-2.403	-0.06106	2.531	501	4500
spatial[104]	-0.01676	1.276	0.02805	-2.479	-0.04667	2.425	501	4500
spatial[105]	0.04804	1.259	0.03172	-2.357	0.02763	2.645	501	4500
spatial[106]	0.03719	1.27	0.02942	-2.425	0.01409	2.639	501	4500
spatial[107]	-0.007898	1.279	0.03025	-2.468	-0.04925	2.58	501	4500
spatial[108]	-0.002357	1.259	0.02966	-2.449	0.006527	2.546	501	4500
spatial[109]	-0.02605	1.282	0.03139	-2.56	-0.04251	2.557	501	4500
spatial[110]	-0.03436	1.276	0.02977	-2.43	-0.0755	2.576	501	4500
spatial[111]	-0.08507	1.248	0.03137	-2.514	-0.1331	2.369	501	4500
spatial[112]	-0.04856	1.266	0.03036	-2.475	-0.1129	2.528	501	4500
spatial[113]	-0.05057	1.276	0.02881	-2.497	-0.05657	2.48	501	4500
spatial[114]	-0.05759	1.285	0.03106	-2.615	-0.09926	2.505	501	4500
spatial[115]	-0.0499	1.261	0.02886	-2.51	-0.06847	2.442	501	4500
spatial[116]	-0.03893	1.281	0.03122	-2.559	-0.07492	2.529	501	4500
spatial[117]	-0.07645	1.265	0.0294	-2.49	-0.1146	2.463	501	4500
spatial[118]	-0.04233	1.266	0.02918	-2.496	-0.05622	2.479	501	4500
spatial[119]	-0.0276	1.267	0.02973	-2.423	-0.05261	2.516	501	4500
spatial[120]	-0.04534	1.264	0.02884	-2.558	-0.05913	2.433	501	4500
spatial[121]	-0.03556	1.253	0.02982	-2.491	-0.05353	2.481	501	4500
spatial[122]	-0.02937	1.287	0.029	-2.488	-0.04608	2.496	501	4500
spatial[123]	0.002404	1.28	0.02984	-2.546	-0.02443	2.514	501	4500
spatial[124]	0.027	1.277	0.03029	-2.479	-0.01449	2.638	501	4500
spatial[125]	0.7923	1.193	0.04846	-1.541	0.8021	3.169	501	4500
spatial[126]	0.06817	1.278	0.03106	-2.436	0.04809	2.598	501	4500
spatial[127]	0.02548	1.266	0.0293	-2.397	0.0102	2.493	501	4500
spatial[128]	-0.1479	1.101	0.02833	-2.367	-0.1876	2.074	501	4500
spatial[129]	-0.06358	1.262	0.03183	-2.44	-0.1428	2.595	501	4500
spatial[130]	-0.07571	1.272	0.03041	-2.492	-0.138	2.439	501	4500
spatial[131]	-0.06532	1.259	0.03121	-2.577	-0.07265	2.437	501	4500
spatial[132]	-0.06396	1.25	0.0294	-2.483	-0.09682	2.436	501	4500
spatial[133]	-0.04063	1.266	0.02964	-2.527	-0.07064	2.477	501	4500
spatial[134]	-0.05654	1.267	0.03036	-2.468	-0.08018	2.471	501	4500
spatial[135]	-0.04944	1.284	0.02875	-2.478	-0.08773	2.545	501	4500
spatial[136]	-0.04468	1.272	0.03056	-2.492	-0.08098	2.502	501	4500
spatial[137]	-0.04327	1.275	0.03108	-2.516	-0.06972	2.527	501	4500

spatial[138]	-0.07304	1.256	0.0302	-2.485	-0.0877	2.455	501	4500
spatial[139]	-0.02362	1.272	0.03044	-2.451	-0.07129	2.551	501	4500
spatial[140]	0.003355	1.264	0.03101	-2.418	-0.02983	2.509	501	4500
spatial[141]	-0.02533	1.275	0.02881	-2.517	-0.06746	2.525	501	4500
spatial[142]	0.006663	1.246	0.03	-2.407	-0.01738	2.535	501	4500
spatial[143]	-0.01483	1.244	0.02809	-2.466	-0.03737	2.46	501	4500
spatial[144]	0.1027	1.124	0.0296	-2.017	0.07574	2.384	501	4500
spatial[145]	-0.005346	1.242	0.02941	-2.42	-0.04724	2.506	501	4500
spatial[146]	0.01152	1.276	0.03146	-2.444	5.294E-4	2.579	501	4500
spatial[147]	-0.03705	1.262	0.02844	-2.583	-0.06192	2.552	501	4500
spatial[148]	-0.05798	1.239	0.02783	-2.505	-0.07541	2.384	501	4500
spatial[149]	-0.2482	1.146	0.02648	-2.464	-0.2674	2.063	501	4500
spatial[150]	-0.07513	1.288	0.03157	-2.557	-0.08663	2.482	501	4500
spatial[151]	-0.03534	1.265	0.0317	-2.512	-0.07079	2.553	501	4500
spatial[152]	-0.0398	1.259	0.03301	-2.438	-0.08504	2.443	501	4500
spatial[153]	-0.03675	1.257	0.03136	-2.444	-0.08541	2.491	501	4500
spatial[154]	-0.05675	1.254	0.02932	-2.476	-0.0918	2.397	501	4500
spatial[155]	-0.04232	1.279	0.03164	-2.509	-0.05745	2.522	501	4500
spatial[156]	-0.04983	1.28	0.0306	-2.547	-0.07137	2.505	501	4500
spatial[157]	-0.08559	1.257	0.03015	-2.566	-0.1156	2.447	501	4500
spatial[158]	-0.0426	1.282	0.02932	-2.541	-0.08056	2.507	501	4500
spatial[159]	-0.02483	1.269	0.02921	-2.533	-0.04487	2.503	501	4500
spatial[160]	-0.01554	1.283	0.02881	-2.423	-0.05283	2.574	501	4500
spatial[161]	0.00802	1.291	0.02951	-2.541	-0.0284	2.517	501	4500
spatial[162]	0.02956	1.27	0.02855	-2.427	-0.0276	2.616	501	4500
spatial[163]	-0.01692	1.25	0.03039	-2.5	-0.07095	2.517	501	4500
spatial[164]	-0.1113	1.236	0.02773	-2.538	-0.1468	2.426	501	4500
spatial[165]	-0.227	1.267	0.02742	-2.66	-0.2384	2.294	501	4500
spatial[166]	-0.009003	1.236	0.03355	-2.467	-0.02821	2.549	501	4500
spatial[167]	-0.04106	1.202	0.02817	-2.322	-0.07921	2.365	501	4500
spatial[168]	-0.06334	1.265	0.029	-2.523	-0.0901	2.487	501	4500
spatial[169]	-0.07397	1.264	0.0327	-2.52	-0.1162	2.423	501	4500
spatial[170]	-0.05843	1.265	0.03247	-2.475	-0.1004	2.47	501	4500
spatial[171]	-0.02963	1.27	0.03342	-2.502	-0.06132	2.504	501	4500
spatial[172]	0.01872	1.28	0.02965	-2.424	0.0164	2.529	501	4500
spatial[173]	-0.006858	1.276	0.03209	-2.432	-0.03998	2.557	501	4500
spatial[174]	-0.04242	1.275	0.03054	-2.488	-0.08928	2.501	501	4500
spatial[175]	-0.06214	1.294	0.0292	-2.697	-0.09292	2.571	501	4500
spatial[176]	-0.05839	1.253	0.03113	-2.487	-0.1011	2.525	501	4500
spatial[177]	-0.09797	1.251	0.03057	-2.585	-0.1162	2.375	501	4500
spatial[178]	-0.07006	1.259	0.03029	-2.518	-0.09088	2.452	501	4500
spatial[179]	-0.04962	1.274	0.03025	-2.465	-0.07726	2.528	501	4500
spatial[180]	-1.411E-4	1.295	0.03108	-2.538	-0.03119	2.611	501	4500
spatial[181]	0.02944	1.255	0.03149	-2.403	-0.01199	2.518	501	4500
spatial[182]	0.008918	1.289	0.03026	-2.478	-0.02169	2.632	501	4500
spatial[183]	0.02772	1.261	0.03036	-2.399	0.00295	2.55	501	4500
spatial[184]	-0.01372	1.246	0.03033	-2.486	-0.02427	2.476	501	4500
spatial[185]	-0.258	1.291	0.0265	-2.816	-0.2744	2.345	501	4500
spatial[186]	-0.2428	1.256	0.02708	-2.662	-0.2691	2.275	501	4500
spatial[187]	-0.003886	1.219	0.03094	-2.415	-0.02687	2.436	501	4500
spatial[188]	-0.04759	1.265	0.03247	-2.482	-0.09254	2.613	501	4500
spatial[189]	-0.01899	1.245	0.02864	-2.466	-0.06585	2.46	501	4500
spatial[190]	-0.05398	1.274	0.0322	-2.557	-0.07844	2.456	501	4500
spatial[191]	-0.03557	1.288	0.03425	-2.551	-0.05743	2.492	501	4500
spatial[192]	0.007768	1.269	0.03299	-2.443	-0.01545	2.517	501	4500
spatial[193]	-0.01706	1.28	0.02926	-2.495	-0.0752	2.525	501	4500
spatial[194]	-0.02294	1.275	0.03137	-2.44	-0.07986	2.573	501	4500
spatial[195]	-0.0612	1.29	0.03092	-2.586	-0.09527	2.551	501	4500
spatial[196]	-0.08346	1.267	0.03044	-2.522	-0.1236	2.479	501	4500
spatial[197]	-0.09579	1.283	0.0311	-2.541	-0.1262	2.575	501	4500
spatial[198]	-0.0729	1.291	0.02939	-2.639	-0.1032	2.525	501	4500
spatial[199]	-0.0501	1.287	0.02819	-2.528	-0.08731	2.562	501	4500
spatial[200]	-0.07388	1.266	0.03131	-2.441	-0.124	2.442	501	4500
spatial[201]	-0.007848	1.263	0.03299	-2.504	-0.03074	2.42	501	4500
spatial[202]	-0.02146	1.283	0.03479	-2.463	-0.03856	2.617	501	4500
spatial[203]	0.06971	1.312	0.03134	-2.542	0.03453	2.666	501	4500
spatial[204]	1.944	1.448	0.08701	-0.9563	2.053	4.638	501	4500
spatial[205]	0.04292	1.283	0.03115	-2.45	-0.005766	2.579	501	4500
spatial[206]	-0.0179	1.239	0.03091	-2.409	-0.06616	2.528	501	4500
spatial[207]	-0.03466	1.246	0.0314	-2.417	-0.05908	2.463	501	4500

spatial[208]	-0.03696	1.242	0.03391	-2.513	-0.04816	2.301	501	4500
spatial[209]	0.2876	1.145	0.03825	-1.893	0.2608	2.589	501	4500
spatial[210]	-0.0133	1.28	0.03117	-2.551	-0.03179	2.514	501	4500
spatial[211]	-0.04129	1.257	0.0283	-2.49	-0.06661	2.438	501	4500
spatial[212]	-0.04073	1.278	0.03225	-2.534	-0.05395	2.548	501	4500
spatial[213]	-0.06842	1.262	0.0288	-2.534	-0.08973	2.408	501	4500
spatial[214]	-0.07329	1.278	0.02853	-2.527	-0.1203	2.467	501	4500
spatial[215]	-0.04064	1.282	0.03178	-2.533	-0.07424	2.541	501	4500
spatial[216]	-0.07808	1.281	0.03092	-2.503	-0.126	2.49	501	4500
spatial[217]	-0.03955	1.286	0.03429	-2.504	-0.06791	2.555	501	4500
spatial[218]	-0.04785	1.298	0.03116	-2.575	-0.06903	2.516	501	4500
spatial[219]	-0.0529	1.273	0.03082	-2.521	-0.06964	2.462	501	4500
spatial[220]	-0.02129	1.271	0.02949	-2.514	-0.04534	2.512	501	4500
spatial[221]	-0.07188	1.264	0.03063	-2.572	-0.09034	2.449	501	4500
spatial[222]	-0.129	1.267	0.03096	-2.652	-0.1442	2.436	501	4500
spatial[223]	0.03818	1.303	0.02974	-2.503	-2.122E-5	2.775	501	4500
spatial[224]	0.09314	1.316	0.03102	-2.489	0.0462	2.797	501	4500
spatial[225]	0.382	1.135	0.03721	-1.778	0.3537	2.656	501	4500
spatial[226]	-0.008268	1.263	0.03036	-2.42	-0.03679	2.614	501	4500
spatial[227]	-0.01787	1.243	0.03154	-2.444	-0.0716	2.489	501	4500
spatial[228]	0.1299	1.136	0.03495	-2.046	0.09103	2.383	501	4500
spatial[229]	-0.02111	1.28	0.03237	-2.506	-0.0452	2.511	501	4500
spatial[230]	-0.07966	1.26	0.02794	-2.521	-0.08687	2.407	501	4500
spatial[231]	-0.05565	1.261	0.03134	-2.483	-0.09707	2.433	501	4500
spatial[232]	-0.04593	1.278	0.03014	-2.485	-0.0834	2.571	501	4500
spatial[233]	-0.07729	1.282	0.03082	-2.556	-0.1189	2.439	501	4500
spatial[234]	-0.05762	1.265	0.03117	-2.495	-0.09297	2.467	501	4500
spatial[235]	-0.03954	1.313	0.03117	-2.559	-0.0741	2.572	501	4500
spatial[236]	-0.03178	1.298	0.03508	-2.5	-0.05018	2.588	501	4500
spatial[237]	-0.02702	1.265	0.03179	-2.521	-0.04578	2.46	501	4500
spatial[238]	-0.06311	1.248	0.03229	-2.58	-0.08023	2.381	501	4500
spatial[239]	-0.05589	1.249	0.03042	-2.456	-0.08288	2.375	501	4500
spatial[240]	-0.06348	1.27	0.03187	-2.46	-0.0889	2.505	501	4500
spatial[241]	-0.06219	1.255	0.03292	-2.544	-0.08158	2.483	501	4500
spatial[242]	-0.08103	1.246	0.03002	-2.541	-0.08121	2.376	501	4500
spatial[243]	-0.0196	1.267	0.02933	-2.495	-0.04081	2.502	501	4500
spatial[244]	0.04119	1.264	0.03082	-2.525	0.01995	2.542	501	4500
spatial[245]	0.03432	1.269	0.02979	-2.469	-0.00673	2.608	501	4500
spatial[246]	-0.01346	1.258	0.03352	-2.473	-0.03201	2.552	501	4500
spatial[247]	-0.04399	1.252	0.03028	-2.514	-0.0442	2.433	501	4500
spatial[248]	-0.01194	1.25	0.03004	-2.426	-0.02523	2.51	501	4500
spatial[249]	-0.007631	1.253	0.03224	-2.4	-0.03071	2.534	501	4500
spatial[250]	-0.03908	1.274	0.03057	-2.511	-0.06402	2.464	501	4500
spatial[251]	-0.05702	1.291	0.03423	-2.54	-0.07702	2.546	501	4500
spatial[252]	-0.05028	1.279	0.03064	-2.442	-0.08983	2.534	501	4500
spatial[253]	-0.05094	1.282	0.03028	-2.573	-0.06464	2.501	501	4500
spatial[254]	-0.02838	1.288	0.03386	-2.521	-0.05487	2.558	501	4500
spatial[255]	-0.03584	1.286	0.03323	-2.461	-0.06465	2.583	501	4500
spatial[256]	-0.02766	1.3	0.03181	-2.533	-0.06658	2.538	501	4500
spatial[257]	-0.07042	1.278	0.03103	-2.513	-0.09224	2.464	501	4500
spatial[258]	-0.1131	1.255	0.02984	-2.448	-0.1492	2.4	501	4500
spatial[259]	-0.09387	1.266	0.03113	-2.527	-0.1044	2.39	501	4500
spatial[260]	-0.07275	1.268	0.03023	-2.446	-0.1311	2.479	501	4500
spatial[261]	-0.07785	1.28	0.0284	-2.595	-0.1217	2.493	501	4500
spatial[262]	-0.03772	1.27	0.02863	-2.461	-0.05981	2.526	501	4500
spatial[263]	-0.01327	1.26	0.03176	-2.503	-0.04703	2.494	501	4500
spatial[264]	0.03292	1.251	0.03349	-2.302	-0.0127	2.568	501	4500
spatial[265]	-0.01579	1.269	0.03154	-2.482	-0.04687	2.506	501	4500
spatial[266]	-0.02394	1.265	0.03143	-2.475	-0.0686	2.488	501	4500
spatial[267]	-0.07764	1.257	0.03039	-2.489	-0.1005	2.39	501	4500
spatial[268]	-0.04363	1.295	0.03352	-2.586	-0.07006	2.507	501	4500
spatial[269]	-0.03516	1.273	0.03299	-2.534	-0.05557	2.534	501	4500
spatial[270]	-0.03144	1.274	0.02966	-2.473	-0.07699	2.585	501	4500
spatial[271]	-0.04482	1.266	0.03106	-2.429	-0.08677	2.547	501	4500
spatial[272]	-0.09622	1.274	0.03034	-2.604	-0.1251	2.52	501	4500
spatial[273]	-0.05312	1.257	0.0329	-2.485	-0.1021	2.479	501	4500
spatial[274]	-0.07789	1.244	0.03048	-2.424	-0.1262	2.398	501	4500
spatial[275]	-0.04229	1.266	0.0319	-2.508	-0.07012	2.545	501	4500
spatial[276]	-0.05469	1.258	0.03317	-2.511	-0.07018	2.401	501	4500
spatial[277]	-0.09802	1.274	0.03206	-2.556	-0.1256	2.548	501	4500

spatial[278]	-0.077	1.266	0.03054	-2.543	-0.1218	2.488	501	4500
spatial[279]	-0.05697	1.261	0.03152	-2.457	-0.08225	2.449	501	4500
spatial[280]	-0.0586	1.287	0.03114	-2.502	-0.08077	2.588	501	4500
spatial[281]	-0.002065	1.294	0.03111	-2.528	-0.0241	2.579	501	4500
spatial[282]	-0.006448	1.254	0.03218	-2.408	-0.05256	2.596	501	4500
spatial[283]	0.002359	1.257	0.03296	-2.465	-0.02359	2.456	501	4500
spatial[284]	-0.05867	1.277	0.03362	-2.529	-0.09339	2.489	501	4500
spatial[285]	-0.09404	1.269	0.02953	-2.578	-0.109	2.377	501	4500
spatial[286]	-0.07491	1.279	0.03209	-2.473	-0.1435	2.539	501	4500
spatial[287]	-0.0918	1.269	0.03378	-2.589	-0.1279	2.423	501	4500
spatial[288]	-0.02038	1.244	0.03063	-2.465	-0.07982	2.463	501	4500
spatial[289]	-0.0294	1.302	0.03178	-2.557	-0.04791	2.573	501	4500
spatial[290]	-0.07283	1.279	0.02908	-2.499	-0.11	2.585	501	4500
spatial[291]	-0.0574	1.248	0.02946	-2.492	-0.08661	2.43	501	4500
spatial[292]	-0.0202	1.267	0.03154	-2.486	-0.04389	2.496	501	4500
spatial[293]	-0.0564	1.257	0.03288	-2.565	-0.06907	2.466	501	4500
spatial[294]	-0.01797	1.274	0.03356	-2.465	-0.05399	2.486	501	4500
spatial[295]	-0.03331	1.286	0.0315	-2.615	-0.05093	2.519	501	4500
spatial[296]	-0.0591	1.295	0.03106	-2.534	-0.07161	2.558	501	4500
spatial[297]	-0.06964	1.28	0.03008	-2.542	-0.1197	2.488	501	4500
spatial[298]	-0.05229	1.258	0.03056	-2.505	-0.1009	2.541	501	4500
spatial[299]	-0.004072	1.28	0.03269	-2.445	-0.03188	2.494	501	4500
spatial[300]	-0.06465	1.274	0.02955	-2.565	-0.08952	2.471	501	4500
spatial[301]	-0.05153	1.27	0.03168	-2.528	-0.07497	2.451	501	4500
spatial[302]	-0.02253	1.265	0.03141	-2.511	-0.06842	2.5	501	4500
spatial[303]	-0.06727	1.267	0.03223	-2.541	-0.08254	2.458	501	4500
spatial[304]	-0.08356	1.268	0.0297	-2.565	-0.1135	2.501	501	4500
spatial[305]	-0.07813	1.282	0.03121	-2.598	-0.09242	2.562	501	4500
spatial[306]	-0.08682	1.248	0.03049	-2.556	-0.1157	2.438	501	4500
spatial[307]	-0.05416	1.287	0.03161	-2.61	-0.08803	2.52	501	4500
spatial[308]	-0.07455	1.25	0.02967	-2.534	-0.08625	2.442	501	4500
spatial[309]	-0.01755	1.27	0.03079	-2.512	-0.05275	2.526	501	4500
spatial[310]	-0.02084	1.274	0.03032	-2.441	-0.05609	2.61	501	4500
spatial[311]	-0.05727	1.278	0.03155	-2.567	-0.1009	2.489	501	4500
spatial[312]	-0.01426	1.283	0.03293	-2.473	-0.04706	2.626	501	4500
spatial[313]	-0.06034	1.298	0.03236	-2.556	-0.1016	2.54	501	4500
spatial[314]	-0.05691	1.265	0.02926	-2.559	-0.08002	2.508	501	4500
spatial[315]	-0.05874	1.242	0.03242	-2.477	-0.06979	2.372	501	4500
spatial[316]	-0.039	1.273	0.03436	-2.511	-0.06664	2.517	501	4500
spatial[317]	-0.01854	1.273	0.03395	-2.466	-0.04667	2.488	501	4500
spatial[318]	-0.03574	1.276	0.03366	-2.511	-0.06834	2.472	501	4500
spatial[319]	-0.05248	1.247	0.03108	-2.513	-0.06846	2.382	501	4500
spatial[320]	-0.02881	1.259	0.03198	-2.446	-0.04739	2.5	501	4500
spatial[321]	-0.0402	1.269	0.03475	-2.548	-0.09563	2.525	501	4500
spatial[322]	-0.07313	1.291	0.03135	-2.5	-0.1183	2.566	501	4500
spatial[323]	-0.06928	1.288	0.02911	-2.551	-0.09688	2.483	501	4500
spatial[324]	-0.03305	1.249	0.03079	-2.502	-0.05858	2.427	501	4500
spatial[325]	-0.06635	1.265	0.03302	-2.514	-0.1081	2.496	501	4500
spatial[326]	-0.07725	1.262	0.03216	-2.537	-0.104	2.544	501	4500
spatial[327]	-0.02177	1.28	0.03057	-2.523	-0.03548	2.547	501	4500
spatial[328]	-0.03329	1.283	0.03122	-2.467	-0.04836	2.562	501	4500
spatial[329]	-0.03424	1.277	0.03098	-2.52	-0.05638	2.534	501	4500
spatial[330]	-0.04957	1.281	0.03154	-2.584	-0.07091	2.548	501	4500
spatial[331]	-0.07952	1.25	0.03067	-2.524	-0.09402	2.415	501	4500
spatial[332]	-0.07566	1.252	0.02998	-2.525	-0.1305	2.505	501	4500
spatial[333]	-0.02888	1.259	0.03461	-2.402	-0.06573	2.523	501	4500
spatial[334]	-0.06627	1.279	0.0321	-2.48	-0.1143	2.502	501	4500
spatial[335]	-0.02237	1.259	0.03342	-2.445	-0.04233	2.488	501	4500
spatial[336]	-0.03453	1.267	0.03207	-2.416	-0.06377	2.517	501	4500
spatial[337]	-0.06229	1.277	0.03142	-2.555	-0.09279	2.476	501	4500
spatial[338]	-0.0783	1.275	0.03138	-2.61	-0.07485	2.405	501	4500
spatial[339]	-0.05977	1.3	0.0346	-2.57	-0.08115	2.563	501	4500
spatial[340]	-0.1058	1.226	0.02853	-2.468	-0.1191	2.325	501	4500
spatial[341]	-0.04918	1.247	0.03039	-2.431	-0.08801	2.47	501	4500
spatial[342]	-0.02532	1.262	0.0307	-2.473	-0.02447	2.558	501	4500
spatial[343]	-0.07115	1.264	0.0301	-2.474	-0.1258	2.493	501	4500
spatial[344]	-0.08628	1.259	0.03271	-2.565	-0.1055	2.42	501	4500
spatial[345]	-0.05876	1.278	0.02843	-2.592	-0.08385	2.506	501	4500
spatial[346]	-0.05195	1.265	0.03345	-2.579	-0.08776	2.481	501	4500
spatial[347]	-0.06632	1.24	0.0318	-2.456	-0.09839	2.398	501	4500



spatial[348]	-0.03999	1.27	0.03059	-2.517	-0.07503	2.542	501	4500
spatial[349]	-0.04477	1.283	0.03005	-2.515	-0.1024	2.548	501	4500
spatial[350]	-0.07761	1.271	0.02814	-2.49	-0.1084	2.481	501	4500
spatial[351]	-0.06191	1.285	0.03117	-2.542	-0.09443	2.544	501	4500
spatial[352]	-0.08462	1.291	0.03133	-2.566	-0.1214	2.497	501	4500

Tabela 8.3 Valores predito pelo modelo para os 352 pixels definidos na Figura 4.1 referente a variável TPH (ppm)  
(*Total Petroleum Hydrocarbon*)

Pixel	média	DP	MC erro	2.5%	mediana	97.5%	corte	amostras
preditos[1]	1.626	1.316	0.02131	-1.017	1.637	4.231	501	4500
preditos[2]	1.588	1.276	0.02127	-0.9992	1.584	4.119	501	4500
preditos[3]	1.623	1.289	0.02153	-0.9523	1.63	4.164	501	4500
preditos[4]	1.549	1.278	0.02091	-1.017	1.534	4.142	501	4500
preditos[5]	1.395	1.341	0.0243	-1.184	1.397	4.089	501	4500
preditos[6]	1.334	1.321	0.02236	-1.307	1.349	4.077	501	4500
preditos[7]	1.564	1.309	0.02198	-1.044	1.576	4.139	501	4500
preditos[8]	1.603	1.301	0.0196	-0.99	1.588	4.198	501	4500
preditos[9]	1.606	1.324	0.02072	-0.9668	1.622	4.28	501	4500
preditos[10]	1.616	1.297	0.02159	-0.8934	1.611	4.266	501	4500
preditos[11]	1.602	1.313	0.02173	-0.9774	1.597	4.227	501	4500
preditos[12]	1.63	1.3	0.02347	-0.8254	1.633	4.296	501	4500
preditos[13]	1.629	1.255	0.02014	-0.7826	1.606	4.213	501	4500
preditos[14]	1.614	1.299	0.02192	-0.9681	1.603	4.205	501	4500
preditos[15]	1.624	1.296	0.01762	-0.9675	1.615	4.281	501	4500
preditos[16]	8.093	1.36	0.02404	5.351	8.1	10.81	501	4500
preditos[17]	8.082	1.354	0.02346	5.374	8.092	10.93	501	4500
preditos[18]	1.58	1.295	0.02161	-1.087	1.579	4.209	501	4500
preditos[19]	1.586	1.321	0.01986	-1.052	1.584	4.159	501	4500
preditos[20]	1.62	1.279	0.01917	-0.9129	1.603	4.147	501	4500
preditos[21]	1.59	1.296	0.01989	-0.958	1.595	4.187	501	4500
preditos[22]	1.592	1.274	0.02212	-0.9641	1.6	4.12	501	4500
preditos[23]	1.615	1.303	0.02395	-0.9574	1.612	4.192	501	4500
preditos[24]	1.628	1.299	0.01691	-0.9202	1.63	4.24	501	4500
preditos[25]	1.654	1.287	0.02002	-0.9781	1.643	4.187	501	4500
preditos[26]	1.614	1.284	0.02109	-0.9397	1.593	4.217	501	4500
preditos[27]	1.655	1.293	0.02104	-0.842	1.644	4.304	501	4500
preditos[28]	1.63	1.282	0.01789	-0.961	1.632	4.164	501	4500
preditos[29]	8.162	1.349	0.0223	5.508	8.156	10.82	501	4500
preditos[30]	8.157	1.353	0.0221	5.458	8.156	10.93	501	4500
preditos[31]	8.161	1.352	0.02272	5.431	8.151	10.83	501	4500
preditos[32]	8.158	1.336	0.01991	5.441	8.146	10.86	501	4500
preditos[33]	8.169	1.339	0.02267	5.513	8.164	10.82	501	4500
preditos[34]	8.116	1.343	0.01955	5.342	8.124	10.79	501	4500
preditos[35]	1.622	1.299	0.01995	-0.9525	1.619	4.217	501	4500
preditos[36]	1.581	1.297	0.02236	-0.9732	1.584	4.144	501	4500
preditos[37]	1.629	1.266	0.02314	-0.9768	1.64	4.124	501	4500
preditos[38]	1.596	1.287	0.02037	-1.054	1.594	4.154	501	4500
preditos[39]	1.631	1.275	0.02099	-0.9632	1.626	4.14	501	4500
preditos[40]	1.66	1.314	0.02186	-0.9962	1.665	4.356	501	4500
preditos[41]	1.625	1.334	0.02064	-1.031	1.603	4.291	501	4500
preditos[42]	1.667	1.29	0.0183	-0.8534	1.667	4.256	501	4500
preditos[43]	1.641	1.309	0.02012	-0.9767	1.625	4.332	501	4500
preditos[44]	1.613	1.281	0.01796	-1.008	1.608	4.145	501	4500
preditos[45]	1.609	1.304	0.02131	-1.022	1.605	4.243	501	4500
preditos[46]	8.192	1.341	0.02297	5.596	8.187	10.89	501	4500
preditos[47]	8.169	1.335	0.02476	5.577	8.178	10.86	501	4500
preditos[48]	8.179	1.341	0.0218	5.546	8.179	10.92	501	4500
preditos[49]	8.235	1.342	0.02351	5.572	8.251	10.84	501	4500
preditos[50]	8.241	1.356	0.02266	5.551	8.252	11.0	501	4500
preditos[51]	8.165	1.33	0.02314	5.593	8.145	10.9	501	4500

preditos[52]	1.631	1.281	0.01835	-0.8735	1.615	4.216	501	4500
preditos[53]	1.641	1.273	0.01821	-0.8747	1.637	4.231	501	4500
preditos[54]	1.648	1.291	0.02057	-0.9343	1.649	4.272	501	4500
preditos[55]	1.595	1.301	0.02287	-1.016	1.608	4.149	501	4500
preditos[56]	1.618	1.283	0.01873	-0.8758	1.632	4.153	501	4500
preditos[57]	1.59	1.269	0.02109	-1.09	1.632	4.026	501	4500
preditos[58]	1.596	1.281	0.01757	-0.9221	1.598	4.202	501	4500
preditos[59]	1.657	1.286	0.0185	-0.9484	1.672	4.214	501	4500
preditos[60]	1.619	1.297	0.02157	-1.031	1.641	4.16	501	4500
preditos[61]	1.663	1.239	0.0204	-0.7705	1.671	4.222	501	4500
preditos[62]	1.634	1.298	0.02285	-0.909	1.641	4.169	501	4500
preditos[63]	1.628	1.29	0.01633	-1.003	1.643	4.236	501	4500
preditos[64]	8.18	1.322	0.02152	5.538	8.197	10.85	501	4500
preditos[65]	8.163	1.315	0.02184	5.528	8.152	10.78	501	4500
preditos[66]	8.172	1.337	0.02134	5.563	8.165	10.86	501	4500
preditos[67]	8.358	1.347	0.02161	5.65	8.381	11.0	501	4500
preditos[68]	8.369	1.343	0.02365	5.693	8.364	11.02	501	4500
preditos[69]	8.149	1.335	0.01885	5.533	8.15	10.81	501	4500
preditos[70]	1.632	1.29	0.02026	-1.064	1.625	4.193	501	4500
preditos[71]	1.604	1.277	0.0207	-0.9465	1.599	4.159	501	4500
preditos[72]	1.636	1.297	0.02309	-0.9247	1.62	4.254	501	4500
preditos[73]	1.614	1.272	0.02044	-0.889	1.604	4.177	501	4500
preditos[74]	1.604	1.272	0.0216	-0.9375	1.606	4.081	501	4500
preditos[75]	1.604	1.293	0.02193	-0.9805	1.61	4.159	501	4500
preditos[76]	1.62	1.277	0.02037	-0.9181	1.633	4.097	501	4500
preditos[77]	1.645	1.282	0.02313	-0.8988	1.66	4.189	501	4500
preditos[78]	1.699	1.238	0.02	-0.7827	1.702	4.219	501	4500
preditos[79]	1.656	1.293	0.01881	-0.8979	1.655	4.298	501	4500
preditos[80]	1.629	1.274	0.0207	-0.9439	1.619	4.139	501	4500
preditos[81]	1.66	1.268	0.01944	-0.9027	1.668	4.225	501	4500
preditos[82]	8.171	1.352	0.01986	5.45	8.173	10.89	501	4500
preditos[83]	8.184	1.336	0.01963	5.43	8.196	10.92	501	4500
preditos[84]	8.22	1.337	0.02173	5.545	8.208	10.87	501	4500
preditos[85]	8.193	1.337	0.02467	5.584	8.208	10.83	501	4500
preditos[86]	8.211	1.35	0.0195	5.454	8.197	10.9	501	4500
preditos[87]	8.24	1.332	0.02244	5.561	8.244	10.86	501	4500
preditos[88]	1.618	1.284	0.02276	-1.028	1.635	4.194	501	4500
preditos[89]	1.615	1.278	0.01962	-0.9322	1.613	4.237	501	4500
preditos[90]	1.633	1.269	0.01987	-0.8882	1.636	4.157	501	4500
preditos[91]	1.634	1.266	0.01902	-0.7919	1.613	4.201	501	4500
preditos[92]	1.632	1.287	0.02061	-0.9123	1.623	4.262	501	4500
preditos[93]	1.619	1.277	0.0219	-0.9668	1.647	4.076	501	4500
preditos[94]	1.62	1.253	0.02027	-0.9257	1.604	4.019	501	4500
preditos[95]	1.606	1.263	0.0195	-0.9222	1.599	4.121	501	4500
preditos[96]	1.627	1.274	0.02054	-0.9326	1.613	4.179	501	4500
preditos[97]	1.658	1.264	0.02114	-0.8614	1.646	4.16	501	4500
preditos[98]	1.637	1.28	0.02045	-0.9284	1.634	4.158	501	4500
preditos[99]	1.654	1.287	0.0212	-0.9437	1.669	4.22	501	4500
preditos[100]	1.643	1.31	0.02093	-0.9714	1.641	4.209	501	4500
preditos[101]	1.666	1.294	0.01916	-0.9586	1.668	4.298	501	4500
preditos[102]	8.146	1.314	0.021	5.621	8.139	10.8	501	4500
preditos[103]	8.168	1.31	0.02282	5.575	8.145	10.82	501	4500
preditos[104]	8.177	1.333	0.01923	5.38	8.205	10.72	501	4500
preditos[105]	8.242	1.32	0.02283	5.618	8.253	10.91	501	4500
preditos[106]	8.231	1.341	0.02076	5.581	8.235	10.88	501	4500
preditos[107]	1.663	1.293	0.02106	-0.8864	1.645	4.299	501	4500
preditos[108]	1.669	1.269	0.02209	-0.9352	1.683	4.168	501	4500
preditos[109]	1.645	1.28	0.02075	-0.9691	1.648	4.239	501	4500
preditos[110]	1.637	1.295	0.01959	-0.9001	1.637	4.236	501	4500
preditos[111]	1.586	1.262	0.01827	-0.9595	1.567	4.041	501	4500
preditos[112]	1.623	1.275	0.02084	-0.9142	1.601	4.171	501	4500
preditos[113]	1.621	1.299	0.01991	-0.9765	1.635	4.168	501	4500
preditos[114]	1.614	1.305	0.02335	-0.9788	1.611	4.222	501	4500
preditos[115]	1.621	1.278	0.01818	-0.9223	1.622	4.152	501	4500
preditos[116]	1.632	1.287	0.02127	-0.96	1.634	4.222	501	4500
preditos[117]	1.595	1.281	0.0199	-1.015	1.607	4.142	501	4500
preditos[118]	1.629	1.275	0.01839	-0.9715	1.637	4.207	501	4500
preditos[119]	1.644	1.282	0.02052	-0.8941	1.642	4.164	501	4500
preditos[120]	1.626	1.276	0.02037	-0.9769	1.65	4.088	501	4500
preditos[121]	1.636	1.263	0.01827	-0.8387	1.62	4.158	501	4500

preditos[122]	1.642	1.301	0.01743	-0.9661	1.665	4.204	501	4500
preditos[123]	8.196	1.356	0.02005	5.433	8.214	10.94	501	4500
preditos[124]	8.221	1.351	0.0249	5.458	8.24	10.89	501	4500
preditos[125]	8.986	1.175	0.02908	6.69	8.952	11.33	501	4500
preditos[126]	8.262	1.338	0.02458	5.554	8.27	10.89	501	4500
preditos[127]	1.697	1.27	0.01919	-0.8409	1.708	4.189	501	4500
preditos[128]	1.523	1.091	0.01903	-0.6643	1.53	3.722	501	4500
preditos[129]	1.608	1.281	0.02094	-0.8674	1.582	4.265	501	4500
preditos[130]	1.595	1.283	0.01927	-0.9054	1.592	4.186	501	4500
preditos[131]	1.606	1.269	0.02031	-0.9619	1.634	4.092	501	4500
preditos[132]	1.607	1.248	0.01721	-0.8793	1.601	4.091	501	4500
preditos[133]	1.631	1.275	0.01884	-0.956	1.645	4.231	501	4500
preditos[134]	1.615	1.283	0.02315	-0.9349	1.63	4.14	501	4500
preditos[135]	1.622	1.302	0.01951	-0.9233	1.625	4.218	501	4500
preditos[136]	1.626	1.282	0.01912	-0.8439	1.605	4.192	501	4500
preditos[137]	8.151	1.369	0.02144	5.402	8.143	11.0	501	4500
preditos[138]	1.598	1.274	0.02052	-0.9092	1.623	4.174	501	4500
preditos[139]	1.648	1.277	0.01741	-0.8708	1.645	4.236	501	4500
preditos[140]	1.675	1.275	0.02106	-0.8335	1.674	4.192	501	4500
preditos[141]	1.646	1.288	0.01973	-0.9188	1.64	4.202	501	4500
preditos[142]	8.201	1.327	0.02252	5.456	8.187	10.87	501	4500
preditos[143]	8.179	1.316	0.02156	5.526	8.181	10.85	501	4500
preditos[144]	1.774	1.113	0.01485	-0.4147	1.755	4.044	501	4500
preditos[145]	8.189	1.302	0.02246	5.531	8.183	10.78	501	4500
preditos[146]	8.206	1.348	0.02191	5.503	8.22	10.92	501	4500
preditos[147]	1.634	1.266	0.02016	-0.9806	1.652	4.175	501	4500
preditos[148]	1.613	1.245	0.0186	-0.9203	1.634	4.105	501	4500
preditos[149]	1.423	1.14	0.01749	-0.8557	1.437	3.715	501	4500
preditos[150]	1.596	1.297	0.02168	-0.9693	1.6	4.146	501	4500
preditos[151]	1.636	1.282	0.01999	-1.003	1.627	4.298	501	4500
preditos[152]	1.631	1.257	0.02083	-0.8371	1.624	4.114	501	4500
preditos[153]	1.634	1.269	0.01916	-0.8652	1.629	4.202	501	4500
preditos[154]	1.614	1.262	0.01802	-0.9005	1.623	4.076	501	4500
preditos[155]	1.629	1.293	0.01965	-0.9258	1.619	4.206	501	4500
preditos[156]	1.621	1.303	0.02225	-0.9575	1.617	4.196	501	4500
preditos[157]	8.108	1.315	0.01746	5.469	8.1	10.7	501	4500
preditos[158]	8.151	1.364	0.02135	5.468	8.138	10.86	501	4500
preditos[159]	1.646	1.289	0.01898	-0.9631	1.653	4.201	501	4500
preditos[160]	1.656	1.3	0.01766	-0.8959	1.66	4.31	501	4500
preditos[161]	1.679	1.3	0.01984	-0.9391	1.678	4.244	501	4500
preditos[162]	8.224	1.342	0.02062	5.596	8.209	10.94	501	4500
preditos[163]	8.177	1.309	0.02124	5.561	8.168	10.83	501	4500
preditos[164]	8.083	1.307	0.02295	5.473	8.101	10.7	501	4500
preditos[165]	1.444	1.282	0.02077	-1.083	1.474	4.006	501	4500
preditos[166]	1.662	1.243	0.02341	-0.8133	1.651	4.218	501	4500
preditos[167]	8.153	1.262	0.02053	5.698	8.145	10.66	501	4500
preditos[168]	1.608	1.272	0.01751	-0.998	1.637	4.182	501	4500
preditos[169]	1.597	1.274	0.02217	-0.9182	1.608	4.157	501	4500
preditos[170]	1.613	1.27	0.0206	-0.8849	1.607	4.121	501	4500
preditos[171]	1.642	1.264	0.02073	-0.9111	1.617	4.145	501	4500
preditos[172]	1.69	1.294	0.01761	-0.9077	1.692	4.305	501	4500
preditos[173]	1.664	1.28	0.02037	-0.8203	1.664	4.269	501	4500
preditos[174]	1.629	1.278	0.02042	-0.9251	1.635	4.241	501	4500
preditos[175]	1.609	1.303	0.01876	-1.078	1.606	4.238	501	4500
preditos[176]	1.613	1.265	0.01971	-0.8787	1.583	4.214	501	4500
preditos[177]	8.096	1.326	0.02273	5.442	8.092	10.69	501	4500
preditos[178]	8.124	1.338	0.02435	5.474	8.115	10.77	501	4500
preditos[179]	8.144	1.366	0.02591	5.445	8.145	10.8	501	4500
preditos[180]	1.671	1.304	0.02085	-0.8925	1.654	4.259	501	4500
preditos[181]	8.223	1.326	0.02161	5.588	8.213	10.8	501	4500
preditos[182]	8.203	1.354	0.01886	5.477	8.189	10.93	501	4500
preditos[183]	8.222	1.317	0.02203	5.561	8.233	10.8	501	4500
preditos[184]	8.18	1.298	0.02005	5.566	8.202	10.72	501	4500
preditos[185]	7.936	1.369	0.02217	5.15	7.943	10.73	501	4500
preditos[186]	7.951	1.315	0.02214	5.343	7.955	10.64	501	4500
preditos[187]	1.667	1.228	0.02144	-0.8189	1.665	4.135	501	4500
preditos[188]	1.624	1.268	0.02119	-0.9579	1.62	4.26	501	4500
preditos[189]	1.652	1.253	0.01782	-0.8796	1.643	4.186	501	4500
preditos[190]	1.617	1.285	0.02141	-0.9641	1.645	4.139	501	4500
preditos[191]	1.636	1.297	0.02423	-0.9902	1.63	4.162	501	4500

preditos[192]	1.679	1.273	0.02192	-0.8071	1.649	4.248	501	4500
preditos[193]	1.654	1.28	0.01873	-0.8731	1.647	4.225	501	4500
preditos[194]	1.648	1.28	0.01893	-0.8677	1.613	4.189	501	4500
preditos[195]	1.61	1.295	0.02142	-0.9056	1.601	4.274	501	4500
preditos[196]	1.588	1.28	0.02037	-0.9372	1.583	4.145	501	4500
preditos[197]	8.098	1.376	0.02483	5.391	8.085	10.87	501	4500
preditos[198]	8.121	1.358	0.02278	5.322	8.129	10.8	501	4500
preditos[199]	1.621	1.3	0.01888	-0.9708	1.624	4.203	501	4500
preditos[200]	8.12	1.338	0.02241	5.507	8.124	10.76	501	4500
preditos[201]	8.186	1.332	0.02002	5.465	8.206	10.75	501	4500
preditos[202]	8.173	1.337	0.02498	5.539	8.185	10.86	501	4500
preditos[203]	8.264	1.383	0.02215	5.49	8.277	10.92	501	4500
preditos[204]	10.14	1.395	0.06851	7.395	10.19	12.75	501	4500
preditos[205]	8.237	1.343	0.02429	5.571	8.237	11.0	501	4500
preditos[206]	1.653	1.254	0.02114	-0.8904	1.646	4.178	501	4500
preditos[207]	1.636	1.246	0.01902	-0.8646	1.631	4.134	501	4500
preditos[208]	1.634	1.242	0.02003	-0.8866	1.657	4.0	501	4500
preditos[209]	1.959	1.12	0.01976	-0.2244	1.918	4.223	501	4500
preditos[210]	1.658	1.292	0.01994	-0.9925	1.669	4.208	501	4500
preditos[211]	1.63	1.269	0.01887	-0.8572	1.632	4.137	501	4500
preditos[212]	1.63	1.286	0.02203	-0.9195	1.642	4.294	501	4500
preditos[213]	1.603	1.285	0.01916	-0.9699	1.598	4.075	501	4500
preditos[214]	1.598	1.295	0.01978	-0.9001	1.584	4.199	501	4500
preditos[215]	1.631	1.295	0.01892	-0.9566	1.616	4.275	501	4500
preditos[216]	1.593	1.286	0.02143	-0.9463	1.593	4.152	501	4500
preditos[217]	1.632	1.309	0.02485	-0.9632	1.627	4.233	501	4500
preditos[218]	1.623	1.32	0.0216	-1.007	1.642	4.196	501	4500
preditos[219]	1.618	1.285	0.02064	-0.985	1.615	4.149	501	4500
preditos[220]	8.173	1.34	0.02281	5.461	8.211	10.83	501	4500
preditos[221]	8.122	1.338	0.02386	5.403	8.111	10.78	501	4500
preditos[222]	8.065	1.332	0.02449	5.329	8.061	10.68	501	4500
preditos[223]	8.232	1.362	0.02095	5.556	8.233	11.05	501	4500
preditos[224]	8.287	1.385	0.01658	5.57	8.277	11.15	501	4500
preditos[225]	8.576	1.14	0.02019	6.341	8.54	10.89	501	4500
preditos[226]	1.663	1.269	0.01922	-0.8115	1.648	4.204	501	4500
preditos[227]	1.653	1.25	0.01967	-0.8429	1.643	4.144	501	4500
preditos[228]	1.801	1.118	0.01849	-0.4242	1.775	4.042	501	4500
preditos[229]	1.65	1.291	0.02113	-0.8801	1.669	4.232	501	4500
preditos[230]	1.591	1.275	0.01947	-1.007	1.609	4.084	501	4500
preditos[231]	1.616	1.264	0.02017	-0.8692	1.625	4.104	501	4500
preditos[232]	1.625	1.292	0.02057	-0.8867	1.62	4.244	501	4500
preditos[233]	1.594	1.305	0.02111	-0.9621	1.584	4.177	501	4500
preditos[234]	1.614	1.275	0.02157	-0.9041	1.604	4.16	501	4500
preditos[235]	1.632	1.331	0.01978	-0.9558	1.622	4.261	501	4500
preditos[236]	1.639	1.3	0.02146	-0.9616	1.624	4.233	501	4500
preditos[237]	1.644	1.277	0.02053	-0.9097	1.637	4.207	501	4500
preditos[238]	1.608	1.254	0.02117	-0.9627	1.635	4.076	501	4500
preditos[239]	1.615	1.263	0.02067	-0.9077	1.626	4.035	501	4500
preditos[240]	1.608	1.285	0.02083	-0.8955	1.607	4.145	501	4500
preditos[241]	8.132	1.338	0.02639	5.452	8.15	10.81	501	4500
preditos[242]	8.113	1.329	0.02464	5.362	8.111	10.7	501	4500
preditos[243]	8.174	1.349	0.01902	5.417	8.191	10.81	501	4500
preditos[244]	8.235	1.331	0.02477	5.509	8.256	10.85	501	4500
preditos[245]	8.228	1.333	0.02051	5.579	8.247	10.85	501	4500
preditos[246]	1.658	1.264	0.02133	-0.8872	1.669	4.249	501	4500
preditos[247]	1.627	1.261	0.01953	-0.9427	1.639	4.124	501	4500
preditos[248]	1.659	1.261	0.01874	-0.8539	1.658	4.138	501	4500
preditos[249]	1.664	1.267	0.01861	-0.8227	1.67	4.199	501	4500
preditos[250]	1.632	1.28	0.01958	-1.004	1.637	4.127	501	4500
preditos[251]	1.614	1.295	0.02162	-0.9359	1.633	4.277	501	4500
preditos[252]	1.621	1.287	0.01834	-0.8645	1.603	4.244	501	4500
preditos[253]	1.62	1.29	0.0195	-0.9568	1.621	4.201	501	4500
preditos[254]	1.643	1.305	0.02065	-0.9773	1.633	4.322	501	4500
preditos[255]	1.635	1.29	0.02412	-0.897	1.658	4.26	501	4500
preditos[256]	1.644	1.308	0.02179	-0.972	1.641	4.219	501	4500
preditos[257]	1.601	1.284	0.02054	-0.9758	1.586	4.179	501	4500
preditos[258]	1.558	1.266	0.02	-0.8918	1.547	4.065	501	4500
preditos[259]	1.577	1.279	0.01904	-1.007	1.594	4.138	501	4500
preditos[260]	1.598	1.283	0.02081	-0.8936	1.574	4.221	501	4500
preditos[261]	1.593	1.304	0.01893	-1.061	1.587	4.171	501	4500

preditos[262]	1.633	1.286	0.01995	-0.936	1.616	4.243	501	4500
preditos[263]	1.658	1.271	0.02214	-0.916	1.655	4.213	501	4500
preditos[264]	1.704	1.247	0.01961	-0.6965	1.688	4.262	501	4500
preditos[265]	1.655	1.281	0.02098	-0.9189	1.663	4.23	501	4500
preditos[266]	1.647	1.279	0.01982	-0.9248	1.643	4.216	501	4500
preditos[267]	1.594	1.273	0.02141	-0.9474	1.604	4.099	501	4500
preditos[268]	1.628	1.304	0.02144	-0.9556	1.633	4.252	501	4500
preditos[269]	1.636	1.282	0.02349	-0.9446	1.631	4.19	501	4500
preditos[270]	1.64	1.282	0.01868	-0.8628	1.634	4.244	501	4500
preditos[271]	1.626	1.282	0.02235	-0.9118	1.62	4.221	501	4500
preditos[272]	1.575	1.286	0.02108	-1.059	1.587	4.195	501	4500
preditos[273]	1.618	1.273	0.02176	-0.8997	1.593	4.12	501	4500
preditos[274]	1.593	1.251	0.0182	-0.8837	1.566	4.06	501	4500
preditos[275]	1.629	1.27	0.0212	-0.9005	1.624	4.231	501	4500
preditos[276]	1.616	1.263	0.01922	-0.9087	1.627	4.078	501	4500
preditos[277]	1.573	1.287	0.0219	-0.8867	1.546	4.251	501	4500
preditos[278]	1.594	1.288	0.01946	-1.007	1.586	4.177	501	4500
preditos[279]	1.614	1.266	0.02214	-0.8858	1.631	4.098	501	4500
preditos[280]	1.613	1.305	0.02197	-0.9991	1.599	4.265	501	4500
preditos[281]	1.669	1.309	0.01979	-0.9999	1.675	4.346	501	4500
preditos[282]	1.665	1.264	0.01987	-0.8479	1.668	4.273	501	4500
preditos[283]	1.674	1.266	0.02131	-0.9118	1.661	4.169	501	4500
preditos[284]	1.612	1.283	0.02165	-0.9249	1.626	4.196	501	4500
preditos[285]	1.577	1.274	0.01915	-0.9753	1.599	4.064	501	4500
preditos[286]	1.596	1.289	0.021	-0.8739	1.584	4.212	501	4500
preditos[287]	1.579	1.281	0.023	-0.9977	1.592	4.088	501	4500
preditos[288]	1.651	1.257	0.01671	-0.8963	1.625	4.178	501	4500
preditos[289]	1.642	1.315	0.02021	-0.9588	1.657	4.27	501	4500
preditos[290]	1.598	1.294	0.01915	-0.9482	1.583	4.294	501	4500
preditos[291]	1.614	1.267	0.02014	-0.9768	1.621	4.107	501	4500
preditos[292]	1.651	1.288	0.02054	-0.9194	1.636	4.241	501	4500
preditos[293]	1.615	1.266	0.02231	-1.009	1.629	4.112	501	4500
preditos[294]	1.653	1.287	0.0223	-0.8653	1.639	4.187	501	4500
preditos[295]	1.638	1.303	0.02158	-1.015	1.668	4.239	501	4500
preditos[296]	1.612	1.301	0.01963	-0.9667	1.621	4.256	501	4500
preditos[297]	1.602	1.295	0.01907	-0.9467	1.589	4.18	501	4500
preditos[298]	1.619	1.28	0.02094	-0.9837	1.61	4.208	501	4500
preditos[299]	1.667	1.297	0.01898	-0.9021	1.65	4.204	501	4500
preditos[300]	1.607	1.285	0.02045	-0.9874	1.619	4.167	501	4500
preditos[301]	1.62	1.284	0.02274	-0.9571	1.613	4.189	501	4500
preditos[302]	1.649	1.271	0.01931	-0.8958	1.614	4.151	501	4500
preditos[303]	1.604	1.281	0.02114	-0.9272	1.605	4.206	501	4500
preditos[304]	1.588	1.282	0.01767	-0.9994	1.6	4.172	501	4500
preditos[305]	1.593	1.3	0.02018	-0.9814	1.606	4.277	501	4500
preditos[306]	1.584	1.252	0.02113	-0.9997	1.586	4.1	501	4500
preditos[307]	1.617	1.306	0.02027	-1.033	1.604	4.239	501	4500
preditos[308]	1.597	1.261	0.02068	-0.9569	1.599	4.097	501	4500
preditos[309]	1.654	1.28	0.01852	-0.8897	1.649	4.215	501	4500
preditos[310]	1.65	1.289	0.01764	-0.8053	1.638	4.333	501	4500
preditos[311]	1.614	1.299	0.02161	-0.988	1.6	4.163	501	4500
preditos[312]	1.657	1.292	0.02115	-0.9204	1.66	4.267	501	4500
preditos[313]	1.611	1.313	0.02366	-0.9852	1.602	4.269	501	4500
preditos[314]	1.614	1.279	0.0174	-1.008	1.593	4.183	501	4500
preditos[315]	1.612	1.257	0.02369	-0.902	1.621	4.113	501	4500
preditos[316]	1.632	1.283	0.0234	-0.9668	1.635	4.187	501	4500
preditos[317]	1.653	1.285	0.02168	-0.8355	1.644	4.211	501	4500
preditos[318]	1.635	1.289	0.02208	-0.8997	1.629	4.205	501	4500
preditos[319]	1.619	1.253	0.01948	-0.8995	1.639	4.093	501	4500
preditos[320]	1.642	1.272	0.02057	-0.8496	1.654	4.187	501	4500
preditos[321]	1.631	1.283	0.02279	-0.9375	1.608	4.243	501	4500
preditos[322]	1.598	1.306	0.02386	-0.9569	1.602	4.263	501	4500
preditos[323]	1.602	1.294	0.01837	-0.937	1.594	4.179	501	4500
preditos[324]	1.638	1.268	0.02019	-0.9038	1.638	4.124	501	4500
preditos[325]	1.605	1.279	0.02271	-0.9774	1.59	4.208	501	4500
preditos[326]	1.594	1.282	0.02051	-0.9486	1.595	4.22	501	4500
preditos[327]	1.649	1.296	0.01936	-0.9073	1.663	4.221	501	4500
preditos[328]	1.638	1.298	0.02117	-0.889	1.625	4.263	501	4500
preditos[329]	1.637	1.288	0.02001	-0.9654	1.649	4.243	501	4500
preditos[330]	1.622	1.298	0.02295	-0.9953	1.621	4.242	501	4500
preditos[331]	1.592	1.263	0.02049	-0.9538	1.596	4.099	501	4500

preditos[332]	1.595	1.264	0.01963	-0.9297	1.592	4.182	501	4500
preditos[333]	1.642	1.269	0.0205	-0.8453	1.633	4.225	501	4500
preditos[334]	1.605	1.292	0.01921	-0.9343	1.589	4.197	501	4500
preditos[335]	1.649	1.265	0.01978	-0.8018	1.645	4.204	501	4500
preditos[336]	1.637	1.281	0.02105	-0.9068	1.631	4.196	501	4500
preditos[337]	1.609	1.294	0.0215	-0.9992	1.604	4.24	501	4500
preditos[338]	1.593	1.29	0.02055	-1.002	1.611	4.108	501	4500
preditos[339]	1.611	1.309	0.02559	-1.018	1.618	4.233	501	4500
preditos[340]	1.565	1.232	0.01797	-0.906	1.595	3.996	501	4500
preditos[341]	1.622	1.259	0.01727	-0.8085	1.605	4.174	501	4500
preditos[342]	1.646	1.273	0.01631	-0.8994	1.629	4.249	501	4500
preditos[343]	1.6	1.275	0.01669	-0.8672	1.577	4.173	501	4500
preditos[344]	1.585	1.272	0.0234	-0.8976	1.577	4.137	501	4500
preditos[345]	1.612	1.295	0.02064	-0.9374	1.601	4.288	501	4500
preditos[346]	1.619	1.284	0.02343	-0.9663	1.608	4.139	501	4500
preditos[347]	1.605	1.246	0.02293	-0.8424	1.598	4.13	501	4500
preditos[348]	1.631	1.277	0.018	-0.893	1.626	4.197	501	4500
preditos[349]	1.626	1.295	0.01973	-0.9672	1.589	4.263	501	4500
preditos[350]	1.594	1.286	0.01882	-1.0	1.581	4.221	501	4500
preditos[351]	1.609	1.304	0.02086	-0.9743	1.591	4.239	501	4500
preditos[352]	1.587	1.295	0.02099	-0.9837	1.578	4.21	501	4500

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)